

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри МАХНВ

_____ Я. М. Корнієнко
(підпис)

“ ” _____ 20__ р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

на здобуття ступеня бакалавра

за напрямом підготовки: 13 – Машинобудування

спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

спеціалізація: Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв

на тему: Модернізація теплообмінника установки виробництва бутадієну

Виконав студент IV курсу, групи ЛН-51

Кузнецова Аріна Дмитрівна

Керівник проекту ст. викл, канд. техн. наук С. В. Гулієнко
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультанти:
з охорони праці канд. техн. наук, доцент І. М. Ковтун
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

з економіки асистент, канд. техн. наук, С. С. Гайдай
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент:
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____ А. Д. Кузнецова

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

Освітній ступінь: бакалавр

Напрямок підготовки: 13 – Машинобудування

Спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

Спеціалізація: Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Я. М. Корнієнко

“__” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Кузнецовій Аріні Дмитрівні

1. Тема проекту: Модернізація теплообмінника установки виробництва бутадієну.

Керівник проекту старший викладач, кандидат технічних наук Гулієнко С. В.

Затверджена наказом по університету від “__” _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом проекту: 1 червня 2019р.

3. Вихідні дані до проекту: початкова температура бутану – 353 К, кінцева температура бутану – 553 К, початкова температура бутилену – 573 К, кінцева температура бутану – 433 К, витрата бутану – 6 кг/с.

4. Зміст пояснювальної записки: а) основна частина: розглянути існуючі конструкції теплообмінників, обґрунтувати вибір конструкції апарата; проаналізувати обрану конструкцію в порівнянні з кращими вітчизняними та світовими аналогами; здійснити розрахунки, що підтверджують працездатність та

надійність конструкції: параметричний, конструктивний та гідравлічний, розрахунки на міцність і надійність елементів конструкції апарату; виконати складальне креслення теплообмінника та його основних складальних одиниць і деталей; розробити рекомендації щодо монтажу та експлуатації теплообмінника; здійснити оцінку рівня стандартизації та уніфікації розробки;

б) охорона праці: провести аналіз відповідності апарату до вимог охорони праці, викласти основні вимоги безпечної експлуатації апарату;

в) рекомендації щодо монтажу та експлуатації: надати рекомендації щодо монтажу та експлуатації теплообмінника;

г) економічна частина: обґрунтувати модернізацію апарату та оцінити його ефективність.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових

креслеників, плакатів, презентацій тощо): технологічна схема установки – А1, кресленик складальний: теплообмінник – А1, корпус – А1, розподільча камера – А2, кришка – А2, ілюстрація до технічної ідеї патенту – А3.

6. Консультанти розділів проекту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Ковтун І. М.		
Економіка	Гайдай С.С.		

7. Дата видачі завдання: 15 квітня 2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Терміни виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	2	3	4
1	Узгодження теми, вихідних даних, визначення джерел інформації. Обґрунтування актуальності проекту.	18.09.18	
2	Патентне дослідження. Формування змісту модернізації (на основі зміни технологічної схеми, конструкції апарату, його елементів).	26.10.18	
3	Оформлення та подання заявки на корисну модель	28.09.18	
4	Опис установки. Схема установки. Вибір і опис конструкції апарату. Технічна характеристика установки, апарату. Добір матеріалів.	12.12.18	
5	Параметричний розрахунок: визначення основних розмірів апарату. Розрахунок гідравлічного опору	13.03.19	
6	Розробка складальних креслень апарату і його складальних одиниць. Добір конструктивних параметрів конструктивних елементів апарату	20.03.19	
7	Розрахунки на міцність. Розробка алгоритмів та програм розрахунку.	15.04.19	
8	Уточнення графічної частини проекту та специфікацій	25.04.19	
9	Обґрунтування економічної доцільності модернізації	13.05.19	

1	2	3	4
10	Розробка вимог до апарата з питань охорони праці	19.05.19	
11	Оформлення пояснювальної записки. Перевірка відповідності проекту діючим нормам за змістом і оформленням. Підготовка до захисту. Складення плану викладення доповіді, окремих питань	25.05.19	
12	Попередній захист проекту	06.06.19	
13	Корегування проекту за результатами попереднього захисту. Отримання рецензії, відзиву. Підготовка до захисту	07.06.19	

Студент _____ А. Д. Кузнецова
(підпис)

Керівник дипломного проекту _____ С. В. Гулієнко
(підпис)

РЕФЕРАТ

УДК 665.6/7

Модернізація теплообмінника установки виробництва бутадієну: Дипломний проект освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр»/ КПІ імені Ігоря Сікорського; Керівник С. В. Гулієнко – К., 2019. – 126 с.: Викон. – А. Д. Кузнецова – Бібліогр.: 101 с.

Пояснювальна записка складається із вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань із 27 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 103 с. основного тексту, 20 рисунків, 4 таблиць і 4 додатків.

Метою проекту є модернізація кожухотрубного теплообмінника з плаваючою головкою для виробництва бутадієну, що дозволяє підвищити ефективність роботи теплообмінника за допомогою удосконалення конструкції шляхом встановлення в міжтрубний простір кільцевих та дискових перегородок та дискову перегородку з циліндричним фрагментом.

Поставлена задача досягається аналітичним визначення основних розмірів апарата, виконанням параметричного, конструктивного, гідравлічного розрахунків та розрахунків на міцність основних вузлів та деталей конструкції, розробкою рекомендації до монтажу та експлуатації теплообмінника, здійсненням оцінки рівня стандартизації та уніфікації розробки, економічним обґрунтуванням модернізації апарата та оцінюванням його ефективності, проведенням аналізу відповідності апарату до вимог охорони праці. Виконано аналіз результатів та зроблено висновки. Наведено список використаної літератури.

Графічна частина дипломного проекту включає три креслення формату А1 та два креслення формату А2, що містить: технологічну схему виробництва бутадієну, складальне креслення теплообмінника, креслення корпусу, креслення розподільчої камери, креслення кришки.

КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК, ПЛАВАЮЧА ГОЛОВКА, БУТАДІЄН.

РЕФЕРАТ

УДК 665.6 / 7

Модернизация теплообменника установки производства бутадиена: Дипломный проект образовательно-квалификационного уровня «бакалавр» / НТУУ «КПИ имени Игоря Сикорского»; Руководитель С. В. Гулиенко - М., 2019. - 126 с.: Испол. - А. Д. Кузнецова - Библиогр.: 101 с.

Пояснительная записка состоит из введения, 8 глав, заключения, списка ссылок с 27 наименований. Общий объем работы составляет 103 с. основного текста, 20 рисунков, 4 таблиц и 4 приложений.

Целью проекта является модернизация кожухотрубного теплообменника с плавающей головкой для производства бутадиена, что позволяет повысить эффективность работы теплообменника с помощью усовершенствования конструкции путем установления в межтрубное пространство кольцевых и дисковых перегородок и дисковую перегородку с цилиндрическим фрагментом.

Поставленная задача достигается аналитическим определением основных размеров аппарата, выполнением параметрического, гидравлического расчетов и расчетов на прочность основных узлов и деталей конструкции, разработкой рекомендации к монтажу и эксплуатации теплообменника, осуществлением оценки уровня стандартизации и унификации разработки, экономическим обоснованием модернизации аппарата и оценкой его эффективности, проведением анализа соответствия аппарата с требованиями охраны труда. Выполнен анализ результатов и сделаны выводы. Приведен список использованной литературы.

Графическая часть дипломного проекта включает три чертежи формата А1 и два чертежа формата А2, содержащую: технологическую схему производства бутадиена, сборочный чертеж теплообменника, чертеж корпуса, чертеж распределительной камеры, чертеж крышки.

КОЖУХОТРУБНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК, ПЛАВАЮЩАЯ ГОЛОВКА, БУТАДИЕН.

ABSTRACT

UDC 665.6/7.

The Bachelor Diploma project on the theme: “Modernization of heat exchanger of butadiene production plant”. / National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”; Supervisor: S. Gulyenko - K., 2019. - 126 p.: Performer. – A. Kuznetsova - Bibliography: 101 p.

The explanatory note consists of an introduction, 8 chapters, a conclusion, a list of references of 27 titles. The total amount of work is 103 pages. a main text: 20 figures, 4 tables and 4 addendums.

The objective of the study is the modernization of the shell and tube heat exchanger with a floating head for butadiene production, which allows to improve the efficiency of the heat exchanger by improving the design, by installing in circular and disk partitions and a disk partition with a cylindrical fragment in the interstitial space.

This object is achieved by the analytical determination of the main dimensions of the unit, the parametric analysis, the constructive calculations, the hydraulic calculations and calculations of the strength of the basic units and parts of the design, the development of recommendations for mounting of installation and operation of the plate heat exchanger, the implementation of assessment of the level of standardization and harmonization of the development, the modernization of the system and justification of the assessment of its effectiveness; the analysis of correspondence of the requirements of the labor protections was conducted; the basic safety apparatus operation was outlined. The analysis of the results and conclusions was done. A list of references is given.

The graphical part of the Diploma project consists of three drawings A1 and two drawings A2 format, comprising: the technological scheme of the butadiene production, the assembling drawing of a heat exchanger, the drawing of a case, the drawing of a distribution chamber, the drawing of a cover.

HEAT EXCHANGER, FLOATING HEAD, BUTADIENE.

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ
на здобуття ступеня бакалавра

за напрямом підготовки: 13 – Машинобудування

спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

спеціалізація: Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв

на тему: Модернізація теплообмінника установки виробництва бутадієну

Зміст

Вступ.....	12
1 Призначення та область використання апарата	13
1.1 Опис технологічної схеми	13
1.2 Вибір типу апарата та його місце в технологічній схемі	14
2 Технічна характеристика.....	16
3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції теплообмінника	17
3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей апарата	17
3.2 Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів	18
3.3 Порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами.....	18
3.4 Патентний огляд конструкцій.....	20
4 Охорона праці	26
5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій... 32	
5.1 Параметричний розрахунок	32
5.2 Конструктивний розрахунок	43
5.3 Визначення розмірів штуцерів.....	44
5.4 Гідравлічний розрахунок.....	46
5.5 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки.....	48
5.6 Розрахунок еліптичного днища	49
5.7 Розрахунок фланцевого з'єднання	51
5.8 Розрахунок опор теплообмінника	61
5.9 Розрахунок компенсатора.....	81
5.10 Розрахунок теплової ізоляції.....	85

					ЛН51.066113.001 ПЗ						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Модернізація теплообмінника установки виробництва бутадієну	Літ.		Лист		Листів	
Разроб.		Кузнецова А.Д.						9		126	
Перев.		Гулієнко С. В.				“КПІ ім. Ігоря Сікорського”ІХФ					
Н.Контр.											
Затв.											

6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апарату	88
7 Рівень стандартизації та уніфікації	91
8 Економічна частина проекту	93
8.1 Техніко – економічні обґрунтування доцільності зміни конструкції	93
Висновок	98
Выводы	99
Conclusion	100
Перелік посилань	101
Додаток А Документація до патентного дослідження	104
Додаток Б Комп’ютерний розрахунок елементів теплообмінника	109
Додаток В Патенти, які використані в патентному дослідженні	114
Додаток Г Публікації автора	120

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів

Умовні позначення:

F – площа теплообміну, м^2 ;

H, h – висота, м;

C – прибавка до розрахункової товщини, м;

D, d – діаметри, м;

m – маса, кг;

G – витрата, кг/с;

Q – витрати теплоти, кг/с;

t – температура, $^{\circ}\text{C}$;

T – температура, К;

α_1 – коефіцієнт тепловіддачі з боку бутану, $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{град}$;

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі зі сторони бутилену, $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{град}$;

K – коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{град}$;

Критерії:

Nu – критерій Нуссельта;

Re – критерій Рейнольдса;

Pr – критерій Прандтля.

Вступ

У світовій промисловості широко застосовують синтетичний каучук та його продукти. На відміну природного каучуку, від значно дешевший та екологічно вигідний. Основна галузь використання – виробництво гуми для транспортної, медичної, машинобудівної промисловостей.

Існує декілька способів отримання синтетичного каучуку, зокрема, полімеризація бутадієну 1,3. Ці методи обумовлюють контактний розклад етилового спирту та дегідрування бутану з бутиленом.

Тому має місце модернізація установки виробництва бутадієну для збільшення обсягів та якості продукції.

Метою дипломного проекту є розробка та модернізація теплообмінника установки виробництва бутадієну, який використовується підігріву бутану.

У проекті необхідно описати конструкцію теплообмінника та його основних складальних одиниць та деталей, вибрати матеріали для його виготовлення, порівняти основні показники розробленої конструкції з аналогами, провести патентні дослідження та навести заходи щодо охорони праці. Провести параметричний розрахунок теплообмінника та розрахунки на міцність основних деталей та вузлів конструкції. Надати рекомендації щодо монтажу та експлуатації та визначити рівень стандартизації та уніфікації апарату. Виконати техніко – економічне обґрунтування модернізації апарату. Виконати креслення технологічної схеми, складального креслення теплообмінника, корпусу, розподільної камери, кришки.

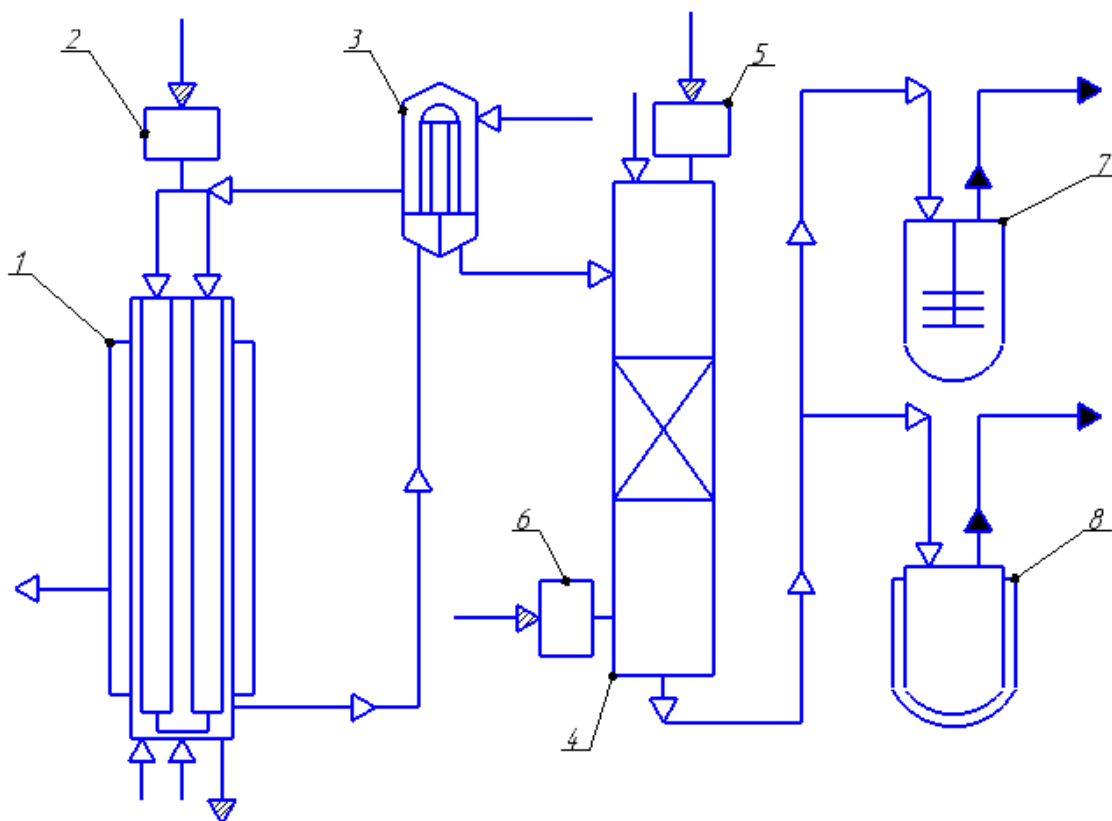
Завдання на дипломний проект було отримано у квітні 2019 року під час проходження переддипломної практики.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

1 Призначення і область використання апарата

1.1 Опис технологічної схеми

Важливе значення для промисловості синтетичного каучуку має процес каталітичного дегідрування бутану і бутилену до бутадієну. Проте найбільш економічним методом отримання дивінілу (бутадієн 1,3) є його виділенні з газів піролізу нафтової сировини [1]. Принципіальна схема двохстадійного способу виробництва дивінілу з бутану наведена на рисунку 1.1.



- 1 – трубчастий реактор із зовнішнім обігрівом для дегідрування н-бутану в н-бутилен; 2 – бункер регенованого каталізатора; 3 – теплообмінник;
4 – реактор адіабатичного типу; 5 – люк для завантаження каталізатора;
6 – люк для вивантаження каталізатора; 7 – апарат для полімеризації в емульсії; 8 – апарат для полімеризації в масі (блоці)

Рисунок 1.1 - Технологічна схема отримання дивінілу.

Використання селективних каталізаторів забезпечує проведення процесу при більш низьких температурах, при яких термічний крекінг початкових і проміжних зв'язків відбувається в незначній мірі. Каталізатори, що використовують в промисловості, сприяє розриву зв'язків С-Н і одночасно запобігає розрив зв'язків С-С.

Дегідрування н-бутану в дивініл іде спочатку до н-бутиленів та вже потім при наступному дегідруванні утворюється дивініл

Теплота реакції залежить від структури початкових з'єднань і тому коливається в невеликих межах. На хід реакції дегідрування впливають склад і активність каталізатора, тиск, температура, тривалість процесу і наявність домішок у початкових речовинах. Вихід дивінілу обмежується не тільки умовами термодинамічної рівноваги, але реакціями крекінгу вуглеводнів, що одночасно відбуваються. Відповідно до принципу Ле-Шательє збільшення виходу дивінілу сприяє зниженню тиску і застосуванням більш високих температур

Процес дегідрування н-бутану здійснюється в одну чи дві стадії. Дегідрування бутану в рухомому або киплячому шарі каталізатора забезпечує безперервність і підвищує продуктивність реакторів (каталізатори – домішка оксидів металів). Дегідрування н-бутиленів зазвичай здійснюються в адіабатичних контактних реакторах при 600-650 °С в присутності перегрітої водяної пари, що знижує парціальний тиск газів, що реагують. Вихід дивінілу 80-85% (в прорахунку газу, що прореагував).

1.2 Вибір типу апарата та його місце в технологічній схемі

Теплообмінний апарат призначений для передачі тепла від більш нагрітого теплоносія до менш. В якості гарячого теплоносія застосовується бутилен, що відає тепло холодному теплоносію – бутану.

Необхідний теплообмінний апарат, який максимально відповідає вимогам,

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

які обумовлені технологічними умовами. Попередньо обирається кожухотрубний теплообмінник, що є найпростішим та, водночас, найефективнішим апаратом в установці виробництва бутадієну. Різниця температур між теплоносіями становить більше ніж 50 К, тому потрібно встановити температурний компенсатор з метою уникнення термічних напружень. В якості компенсатору було обрано плаваючу головку.

Оскільки в теплообмінному апараті не передбачені спеціальні умови протікання процесу, окрім значних температурних навантажень, обрано кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головою. Апарати цього типу більш розповсюджені та відрізняються зручністю в експлуатації.

Область застосування: хімічна, фармацевтична.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Технічна характеристика

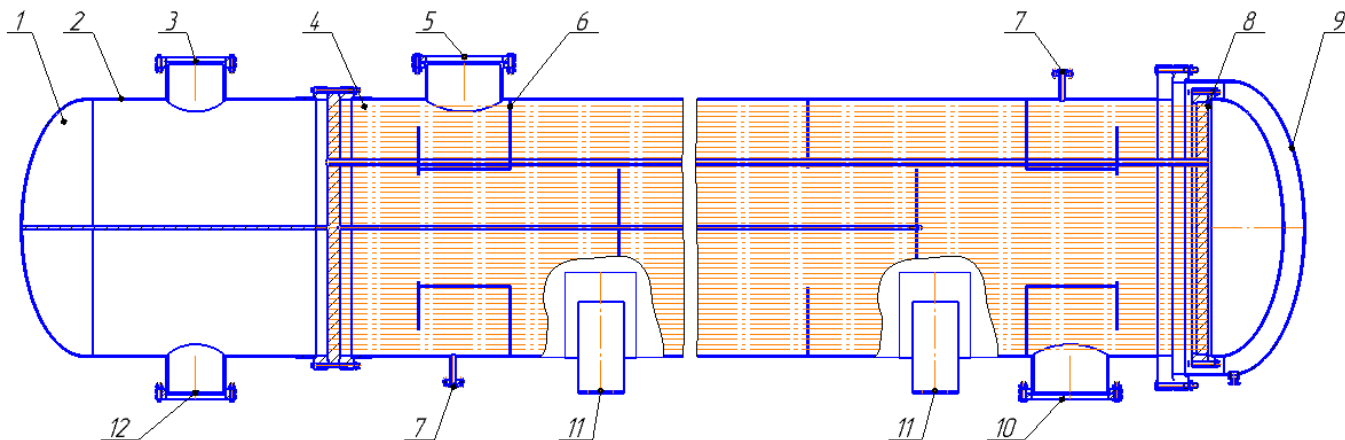
Тиск у трубному просторі, МПа	0,8;
тиск у міжтрубному просторі, МПа	0,8;
початкова температура бутану, К	353;
кінцева температура бутану, К	553;
початкова температура бутілену, К	573;
кінцева температура бутілену, К	433;
загальна поверхня теплообміну, м ²	675;
загальна кількість труб, шт	1432;
діаметр апарата, м	1,780;
зовнішній діаметр труб, м	0,025;
внутрішній діаметр труб, м	0,021;
довжина труб апарата, м	6;
товщина стінки апарата, м	0,008;
довжина апарата, м	8,220;
ширина апарата, м	1,780;
висота апарата, м	1,845;
маса апарата, кг	18390.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції теплообмінника

3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей апарата

Схема показана на рисунку 3.1.



1 – розподільна камера, 2 – корпус, 3 – штуцер для входу бутану, 4 – трубна решітка, 5 – штуцери для входу бутилену, 6 – перегородки, 7 – штуцери дренажні, 8 – плаваюча головка, 9 – кришка, 10 – штуцер для виходу бутилену, 11 – опори, 12 – штуцер для виходу бутану.

Рисунок 3.1 – Схема теплообмінника

Процес нагріву бутану в теплообміннику відбувається наступним чином: в штуцер 12 подають бутан при температурі 353 К, що далі проходить в трубний простір, розвертається в температурному компенсаторі 8, надходить до другого й останнього ходу та виводиться зі штуцера 3 вже нагрітим бутиленом до температури 553 К. Бутилен, з початковою температурою 573 К, потрапляє в штуцер 5, проходить між системою дискових і циліндричних перегородок 6, віддає тепло трубному середовищу, та виходить через штуцер 10 все з температурою 433 К. У разі необхідності, залишки бутилену виводяться через дренажні штуцери 7. Тиск у трубному та міжтрубному просторах становить 0,8 МПа.

Для того, щоб уникнути надмірної дії крайових навантажень, вхідні та вихідні штуцера розташовані на відстані 550-750 мм від трубної решітки, тим самим, підвищуючи міцність корпусу.

3.2 Вибір матеріалів елементів конструкції апарату

Корпус теплообмінника, еліптичне днище, розподільна камера, штуцера, фланці, перегородки, опори виготовлені зі сталі 09ГС2 згідно з [2].

Сталь марки 09ГС2 відповідає технічним вимогам [3], працює в інтервалі температур від мінус -70 °С до 450 °С та тиску до 10 МПа [4].

Теплообмінні труби виготовлені із сталі 12Х18Н10Т згідно [5] та [6]. Сталь марки 12Х18Н10Т має відповідати технічним вимогам [4]. Працює в інтервалі температур від мінус – 30 °С до 550 °С та тиску до 10 МПа.

Болти виготовлені відповідно до ГОСТ Р ИСО 4014, ГОСТ 15590-70, ГОСТ 10602-94.

Гайки обрані згідно вимог ГОСТ 5914-70.

Шайби виготовлені відповідно з ГОСТ 10450-78 та ГОСТ 6402-70.

Шпилька виготовлена із сталі Ст3 відповідно до ГОСТ 22035-76.

Прокладки виготовляються з пароніту згідно до ГОСТ 28759.6-90. Прокладка такого типу використовується при умовному тиску, який не перевищує 2,5 МПа.

3.3 Порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами

Мета: порівняння конструкцій стандартних теплообмінників з проєктованим апаратом.

Вибір типу теплообмінного апарату ґрунтується на декількох важливих

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

факторах, наприклад, початкові технічні вимоги та галузь застосування. Вже після цього звертають увагу на забезпечення високого коефіцієнту теплопередачі на низького показника гідравлічного опору, легкість виготовлення, експлуатації та монтажу, надійність конструкції тощо.

У таблиці 3.1 подана коротка порівняльна характеристика апаратів, що запропонована [7].

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика кожухотрубних теплообмінників

Основні технологічні показники	Із плаваючою головкою	Із <i>U</i> -подібними трубами	Із лінзовим компенсатором
Поверхня теплообміну, бали (1-5)	3	4	5
Продуктивність, бали (1-5)	5	5	5
Надлишковий тиск, бали (1-5)	5	4	2
Маса апарату, бали (1-5)	3	3	2
Складність ремонту, бали (1-5)	4	1	5
Складність експлуатації, бали (1-5)	4	1	3
Σ	24	18	22

За технологічним завданням найближчим варіантом до модифікованої конструкції є кожухотрубний теплообмінник із *U*-подібними трубами. Незважаючи на простоту виготовлення трубної решітки, порівняно з плаваючою

головкою, цей тип теплообмінника дуже складний в експлуатації та ремонту.

Для перевірки доцільності використання саме плаваючою головки в якості температурного компенсатора, було представлено для розгляду варіант теплообмінного апарату із лінзовим компенсатором.

Висновок: обрана конструкція кожухотрубного теплообмінника з плаваючою головкою найкраще відповідає технічним вимогам виробництва, порівнюючи з аналогами.

3.4 Патентний огляд конструкцій

Патентний пошук передбачає огляд конструкцій теплообмінників, що можуть працювати при температурних навантаженнях або будову, що модернізує апарат незалежно від технічних вимог. Задля спрощення пошуку, була поставлена умова використовувати для порівняння кожухотрубні теплообмінники.

Результат патентного пошуку наведений в додатку А.

Теплообмінник з плаваючою головкою [8]

Схема теплообмінника зображена на рисунку 3.2

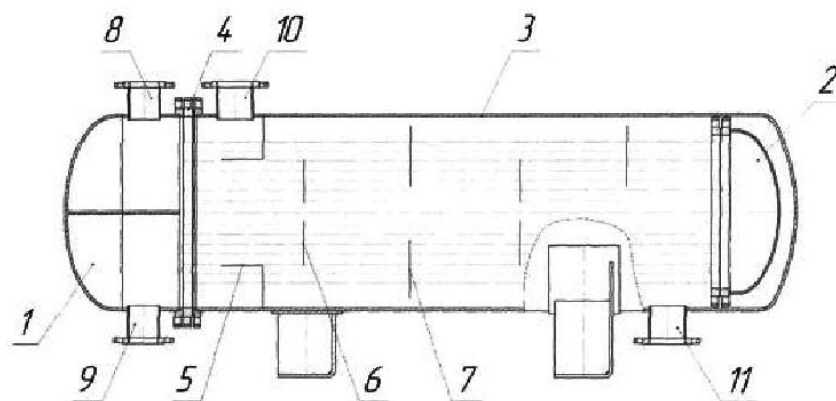
Переваги апарата:

- підвищення ефективності теплообміну за рахунок модернізації перегородок у корпусі;
- ліквідація застійних зон біля кінцевих ділянок труб,
- збільшення поверхні охолодження труб.

Недоліки апарата

- зниження міцності корпусу в зв'язку розташування штуцерів в зоні дії крайових навантажень.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20



1 – кришка, 2 – плаваюча головка, 3 – корпус, 4 – трубна решітка,
 5 – дискові перегороди, 6, 7 – кільцеві перегородки, 8 – штуцер для введення
 середовища в міжтрубний простір, 9 – штуцер для виведення з міжтрубного
 простору, 10 – штуцер для введення в трубний простір, 11 – штуцер для виведення
 середовища з трубного простору.

Рисунок 3.2 – Теплообмінник з плаваючою головкою

Галузь застосування: енергетична, хімічна, теплообмінна.

Кожухотрубний теплообмінник з виносним компенсатором [9].

Схема теплообмінника зображена на рисунку 3.3

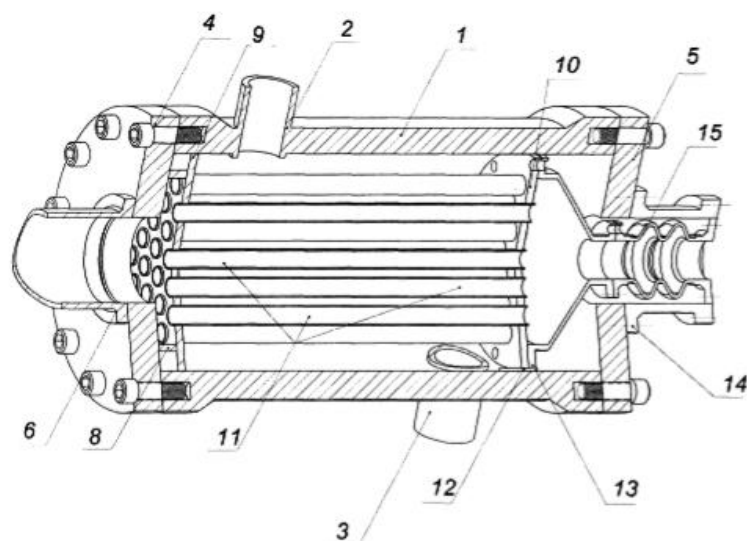
Переваги апарата:

- зменшення температурного напруження;
- легкість заміни компенсатора у разі його несправності.

Недоліки апарата:

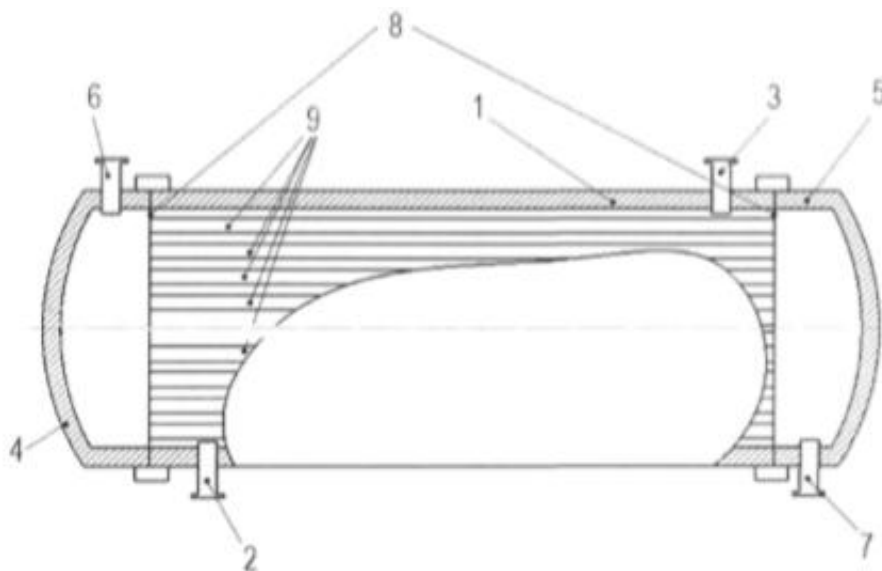
- підвищений ризик механічних ушкоджень стакану.

Галузь застосування: хімічна, нафтопереробна, теплоенергетична, харчова.



1 – кожух, 2,3 – патрубки, 4,5 – кришки, 6 – патрубок, 7 – фланець, 8 – дистанційне кільце, 9,10 – трубні решітки, 11 – пучок труб, 12 – лижа, 13 – випускна камера, 14 – виносний стакан, 15 – компенсатор.

Рисунок 3.3– Теплообмінник з виносним компенсатором
Кожухотрубний теплообмінник [10].



1 – кожух, 2 – вхідний патрубок, 3 – вихідний патрубок, 4,5 – кришки, 6 – вхідний штуцер, 7 – вихідний штуцер, 8 – трубна решітка, 9 – труби.

Рисунок 3.4. – Кожухотрубний теплообмінник

Переваги апарату:

- забезпечення турбулізації потоку в міжтрубному просторі;
- збільшення площі контакту труб;
- збільшення коефіцієнту тепловіддачі;
- застосування матеріалів з приблизно однаковими тепловими властивостями.

Недоліки апарату:

- складність виготовлення та заміни рельєфної поверхні труб;
- складність при очистці міжтрубного простору.

Галузь застосування: харчова, хімічна, фармацевтична, нафтопереробна.
Теплообмінник [11].

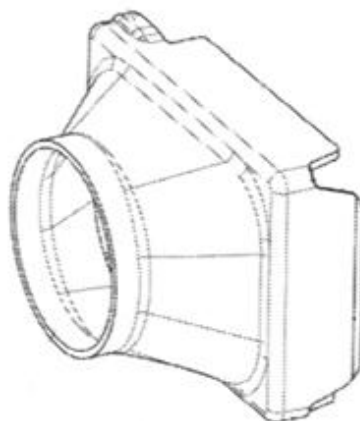


Рисунок 3.5 – Теплообмінник

Переваги апарату:

- зменшення концентрації напружень в корпусі завдяки встановленню товстостінної втулки або хомута;

Недоліки апарату:

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		23

- велика металоємність;
- збільшення ваги теплообмінника.

Галузь застосування: винахід відноситься до теплообмінника, зокрема до охолоджувача нагнітаючого повітря або охолоджувача вихлопних газів для автотранспортного засобу.

Теплообмінник [12].

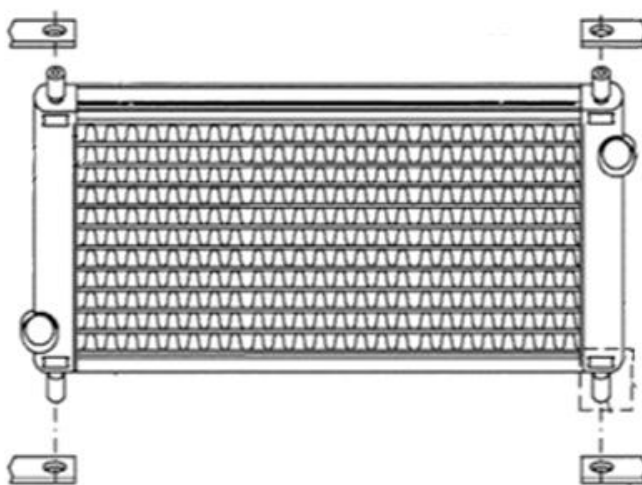


Рисунок 3.6 – Теплообмінник

Переваги апарату:

- наявність з'ємного транспортного штифту на корпусі теплообмінника;
- наявність отвору в корпусі для заміни гайок .

Недоліки апарату:

- обмеження розмірів теплообмінника та, відповідно, площі теплообміну;
- застосування в одиничному виробництві.

Галузь застосування: енергетична, автотранспортна, хімічна, машинобудівна, фармацевтична тощо

Висновок: Більшість оглянутих модернізацій апаратів спрямовані на покращення попередніх моделей, спрощення та довершення конструкцій,

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

підвищення ефективності, спрощення способів транспортації тощо.

Патентний огляд встановив, що розроблений кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою є патентно чистим, модернізованим та готовим до експлуатації.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 Охорона праці

Покращення умов безпеки праці є важливим питанням соціальної політики будь-якої сучасної промислово розвинутої держави. Охорона праці являє собою насамперед системи законодавчих, соціально–економічних, організаційних, технічних, лікувально–профілактичних актів, що у свою чергу регулюються низкою законодавчих актів України, зокрема Законом України "Про охорону праці".

Охорона праці задається наступними діями: знижувати рівень виробничого травматизму, запобігати виникненню професійних захворювань, усунути небезпечні фактори для людини на виробництвах, підприємствах інше.

Тема дипломного проекту «Модернізація теплообмінника установки виробництва бутадієну».

Дане обладнання обслуговує оператор, який виконує свої обов'язки в окремому приміщенні площею $S = 30 \text{ м}^2$ й об'ємом $V = 100 \text{ м}^3$ відповідно.

Небезпечними та шкідливими факторами на робочому місці оператора є:

- 1) виробничий шум і вібрації;
- 2) електронебезпека;
- 3) повітря робочої зони ;
- 4) промислове освітлення;
- 5) пожежо- та вибухонебезпечні.

Захист від вібрації та виробничого шуму

Джерелами виробничого шуму на виробництві є:

- реактори адіабатичний та трубчастий;
- шум виробничих процесів.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Рівень шуму і вібрації під час роботи установки становить $L = 96$ дБА для робочого місця, що здійснює контроль установки хімічного виробництва.

Щоб зменшити рівні звукового тиску на установках, встановлено захисні кожухи та шумозахисні екрани, що відбивають звук, а працівників забезпечено противошумовими навушниками типу ПШН-Б (ГОСТ 12.4.051.87) та противошумовими вкладишами типу «Беруши СТ-1» (ТУУ 25513947.002-99).

Ці заходи зменшили рівень шуму до 60 дБА, що відповідає нормам ДСН 3.3.6.037-99

Електробезпека

Згідно з правилами устрою електроустановок (ПУЕ), приміщення класифікують за II класом з підвищеною небезпекою.

У приміщенні в якому розміщено апарати та для самої роботи використовують трифазну напругу $U = 220/380$ В, з частотою $f = 50$ Гц. Нейтраль ізольована (рисунок 4.1).

Для запобігання ураження електричним струмом виконують наступні заходи:

- рубильники вмикання установки знаходяться у спеціальній шафі;
- передбачається спеціальне захисне вимикання електрообладнання у випадку враження людини струмом;
- дроти проводяться в захисних металевих рукавах;
- на панель керування виводяться сигнальні лампи індикації вмикання електроустаткування;
- вузли установки, що можуть виявитися під електричною напругою мають затискачі для приєднання заземлення.

Виконується заземлення установки, що виключає можливість ураження електричним струмом під час контакту незахищених ділянок шкіри працівників з

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		27

металевими неізольованими частинами апарату; опір електроізоляції дорівнює $R_{\text{загал}} \leq 0,4 \text{ Ом}$.

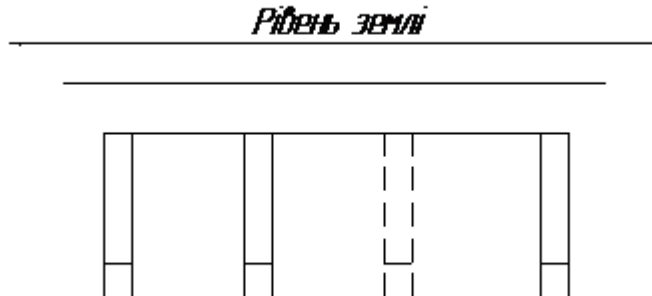


Рисунок 4.1 – Схема занулення електрообладнання у трифазних мережах
Ступінь захисту електричної апаратури всередині приміщень контролюється за ГОСТ 14254–80.

Повітря робочої зони

Робочі умови оператора підпадають під категорію II б (середня важкість), що відповідає енерговитратам 233..290 Вт/год .

Для категорії робіт II б параметри робочої зони наведено таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Параметри відносної вологості, температури і швидкості руху повітря в робочій зоні.

Сезон року	Категорія робіт – II б					
	Температура, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
	Оптим	Фактич	Оптим	Фактич	Оптим	Фактич
Теплий	21–23	21–23	Не більше 75	40–60	Не більше 0,5	0,3
Холодний	17–19	15– 19	Не більше 75	40–60	Не більше 0,4	0,2

Умови, що відповідають вимогам санітарних норм забезпечення оптимального мікроклімату досягаються сукупним використанням природної та примусової вентиляції приміщення.

Забезпечення відповідності параметрів у холодний період року реалізується за допомогою водяного опалення, а в теплий — приточно-витяжною вентиляцією ДСН 3.3.6.042–99.

Повітря в робочій зоні відповідають вимогам ДСН 3.3.6.042-99.

Освітлення

У приміщеннях з ЕОМ і висотою до 10 м використовувати природне та штучне освітлення відповідно до ДБН В 2.5.28 – 2006.

У денний час виробниче приміщення освітлюється природним світлом, що передбачене боковим освітленням (крізь отвори в зовнішніх стінах)

Робоче місце розташовують з деякими умовами: вікна або освітлювальні прилади не мають потрапляти в очі працівників й знаходитись за їх спинами.

За умови використання штучного освітлення застосовати світильники типу ЛД-80 , що працюють від мережі змінного струму напругою 127 – 220 В і частотою 50 Гц з параметрами: потужність $P = 80$ Вт, світловіддача $\Phi = 4250$ лм, тривалість роботи 12000 годин

На робочій поверхні рівень освітленості в області розташування документів складає $E_{\text{нор}}=150$ лк

Для обраного приміщення кількість ламп становить 10. Також використовується система вимикачів, яка регулює інтенсивність штучного освітлення в приміщенні.

Умова освітленості обрана згідно з ДБН В 2.5.28 – 2006.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Пожежна та вибухобезпека

Речовини, бутан і бутилен, що застосовують в установці є шкідливими (токсичними), пожежо- та вибухонебезпечними. Температура самоспалахування 372 °С.

Вогнестійкість будинку за СНиП 2.01.02-85 відповідає ступеню вогнестійкості II.

Категорія приміщень А, відповідно до ОНТП 24. Згідно ПУЕ клас зони установу 2.

Передусім, найбільш ймовірними причинами виникнення загоряння, є:

- несправність електроустаткування, електричної мережі тощо;
- перевантаження кабелів живлення і внаслідок цього, виникнення струму короткого замикання;
- використання вогню в неналежному місці та поблизу вибухонебезпечних зон;
- загоряння ізоляції електропроводки через її пошкодження.

Для уникнення загоряння в приміщенні рекомендовано використовувати наступні заходи:

- дотримання технологічних норм і правил експлуатації, встановлених на виробництві;
- обмежити застосування відкритого вогню безпосередньо близько до вибухонебезпечних, пожежонебезпечних і вибухопожежонебезпечних матеріали, рідини, газу;
- своєчасне проведення інструктажу з охорони праці та організація агітації з протипожежної безпеки;
- паління у спеціальних зонах;
- використання системи електричної пожежної сигналізації (ЕПС) і засобів оперативного зв'язку з пожежною частиною;

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– наявність предметів пожежогасіння в безпосередній близькості від виробничого процесу (пісок, ковдри, вогнегасники).

При наявності малого за площею осередку пожежі, використовують: вогнегасники, пожежні інструменти (сокири, гаки тощо), пожежний інвентар (металеві місткості з водою, коробки з піском, протипожежні полотна).

У приміщенні також необхідно встановити пожежні гідранти, з інтервалом у 30 м, з тепловими сповіщувачами 72 °С, які спрацьовують при зростанні температури до критичної.

Вогнегасники типу ВХП-10 або ВПП-10, пожежні інвентар та інструменти зобов'язані мати червоне пофарбування, а металеві місткості з водою й коробки з піском — відповідні написи білою фарбою.

З метою пожежогасіння треба встановити металеві місткості з водою у виробничому приміщенні. Ці місткості комплектовані пожежними відрами об'ємом 8 л і більше.

Короби для піску з об'ємом від 0.5 до 3 м³ повинні мати совкові лопати.

Протипожежні коши (полотна), виготовлені зі спеціального матеріалу, зазвичай незаймисті теплоізоляційні чи грубововняної тканини, що повинні мати розмір 2х2 м.

Для підвищення організації евакуації при пожежі, у спеціально відведених місцях, розміщено схеми евакуаційного шляху.

Протипожежна безпека відповідає вимогам СНиП 2.01.02-85.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій

5.1 Параметричний розрахунок

Метою розрахунку є визначення площі поверхні теплообміну, а також основних розмірів (діаметр кожуха і довжина теплообмінних труб) горизонтального теплообмінника для нагріву 6 кг/с бутану.

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.1.

Вихідні дані:

Прийmemo для трубного простору індекс '1', а для міжтрубного простору індекс '2'.

Витрата бутану G_1 , кг/с	6;
початкова температура бутану $t_{1п}$, °C	80;
кінцева температура бутану $t_{1к}$, °C	280;
початкова температура бутилену $t_{2п}$, °C	300;
кінцева температура бутилену $t_{2к}$, °C	160.

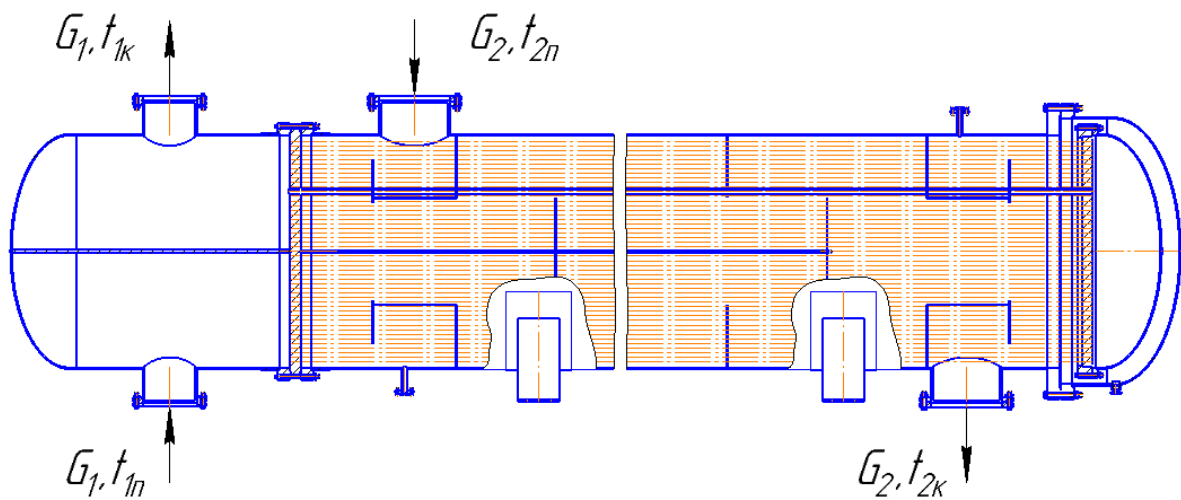


Рисунок 5.1 – Розрахункова схема руху потоків у теплообміннику.

Розрахунок ведеться по [13].

Температурна схема:

$$300^{\circ}\text{C} \rightarrow 160^{\circ}\text{C};$$

$$280^{\circ}\text{C} \leftarrow 80^{\circ}\text{C}.$$

Більша різниця температур:

$$\Delta t_{\text{б}} = t_{2\text{к}} - t_{1\text{п}} = 160 - 80 = 80^{\circ}\text{C}.$$

Менша різниця температур:

$$\Delta t_{\text{м}} = t_{2\text{н}} - t_{1\text{к}} = 300 - 280 = 20^{\circ}\text{C}.$$

Оскільки $\Delta t_{\text{б}} / \Delta t_{\text{м}} = 4 > 2$, то середню різницю температур визначаємо як середню логарифмічну різницю:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{2,31\lg\left(\frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}\right)} = \frac{80 - 20}{2,31\lg\left(\frac{80}{20}\right)} = 43,33^{\circ}\text{C}.$$

Середня температура бутану:

$$t_{1\text{ср}} = \frac{t_{1\text{к}} + t_{1\text{п}}}{2} = \frac{80 + 280}{2} = 180^{\circ}\text{C}.$$

Середня температура бутилену:

$$t_{2\text{ср}} = \frac{t_{2\text{п}} + t_{2\text{к}}}{2} = \frac{160 + 300}{2} = 230^{\circ}\text{C}.$$

Для подальшого розрахунку визначаємо необхідні параметри бутану і бутилену при визначених вище температур. Розрахунок теплофізичних параметрів ведемо згідно з [14].

Бутан (при $t_{1\text{ср}} = 180^{\circ}\text{C}$):

коефіцієнт теплопровідності:

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= -0,00182 + 1,9396 \cdot 10^{-5} \cdot T_{1\text{ср}} + 1,3818 \cdot 10^{-7} \cdot T_{1\text{ср}}^2 = \\ &= -0,00182 + 1,9396 \cdot 10^{-5} \cdot 453 + 1,3818 \cdot 10^{-7} \cdot 453^2 = 0,035 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)},\end{aligned}$$

де $T_{1\text{ср}}$ – температура бутану в кельвінах

$$T_{1\text{ср}} = t_{1\text{ср}} + 273 = 180 + 273 = 453 \text{ К};$$

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

питома теплоємність:

$$c_1 = \frac{20,056 + 2,8153 \cdot 10^{-1} \cdot T_{\text{лсп}} - 1,3143 \cdot 10^{-5} \cdot T_{\text{лсп}}^2 - 9,4571 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{лсп}}^3 + 3,4149 \cdot 10^{-11} \cdot T_{\text{лсп}}^4}{M_{\text{лм}}} =$$
$$= \frac{20,056 + 2,8153 \cdot 10^{-1} \cdot 453 - 1,3143 \cdot 10^{-5} \cdot 453^2 - 9,4571 \cdot 10^{-8} \cdot 453^3 + 3,4149 \cdot 10^{-11} \cdot 453^4}{58,12 \cdot 10^{-3}} =$$
$$= 2,366 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)},$$

де $M_{\text{лм}}$ – молярна маса бутану, $M_{\text{лм}} = 58,12 \cdot 10^{-3}$ кг/моль;

густина:

$$\rho_1 = \frac{M_{\text{лм}}}{V_{\text{м}}} \cdot \frac{T_{\text{лсп}}}{T_0} = \frac{58,12 \cdot 10^{-3}}{22,4 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{453}{273} = 4,305 \text{ кг/м}^3,$$

де $V_{\text{м}}$ – стандартний молярний об'єм, $V_{\text{м}} = 22,4 \cdot 10^{-3}$ м³/моль;

коефіцієнт динамічної в'язкості:

$$\mu_1 = \frac{(-4,946 + 2,9001 \cdot 10^{-1} \cdot T_{\text{лсп}} - 6,9665 \cdot 10^{-5} \cdot T_{\text{лсп}}^2) \cdot 10^{-6}}{10} =$$
$$= \frac{(-4,946 + 2,9001 \cdot 10^{-1} \cdot 453 - 6,9665 \cdot 10^{-5} \cdot 453^2) \cdot 10^{-6}}{10} = 11,213 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Бутилен (при $t_{2\text{сп}} = 230^\circ\text{C}$):

коефіцієнт теплопровідності:

$$\lambda_2 = -0,00293 + 3,0250 \cdot 10^{-5} \cdot T_{2\text{сп}} + 1,0192 \cdot 10^{-7} \cdot T_{2\text{сп}}^2 =$$
$$= -0,00293 + 3,0250 \cdot 10^{-5} \cdot 503 + 1,0192 \cdot 10^{-7} \cdot 503^2 = 0,038 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)},$$

де $T_{2\text{сп}}$ – температура бутилену в кельвінах

$$T_{2\text{сп}} = t_{2\text{сп}} + 273 = 230 + 273 = 503 \text{ К};$$

питома теплоємність:

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$c_2 = \frac{24,915 + 2,0648 \cdot 10^{-1} \cdot T_{2cp} + 5,9828 \cdot 10^{-5} \cdot T_{2cp}^2 - 1,4166 \cdot 10^{-7} \cdot T_{2cp}^3 + 4,7053 \cdot 10^{-11} \cdot T_{2cp}^4}{M_{2m}} =$$

$$= \frac{24,915 + 2,0648 \cdot 10^{-1} \cdot 503 + 5,9828 \cdot 10^{-5} \cdot 503^2 - 1,4166 \cdot 10^{-7} \cdot 503^3 + 4,7053 \cdot 10^{-11} \cdot 503^4}{56,11 \cdot 10^{-3}} =$$

$$= 2,297 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)},$$

де M_{2m} – молярна маса бутілену $M_{2m} = 56,11 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$;

густина:

$$\rho_2 = \frac{M_{2m}}{V_m} \cdot \frac{T_{2cp}}{T_0} = \frac{56,11 \cdot 10^{-3}}{22,4 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{503}{273} = 4,615 \text{ кг/м}^3;$$

коефіцієнт динамічної в'язкості:

$$\mu_2 = \frac{(-9,143 + 3,1562 \cdot 10^{-1} \cdot T_{2cp} - 8,4164 \cdot 10^{-5} \cdot T_{2cp}^2) \cdot 10^{-6}}{10} =$$

$$= \frac{(-9,143 + 3,1562 \cdot 10^{-1} \cdot 503 - 8,4164 \cdot 10^{-5} \cdot 503^2) \cdot 10^{-6}}{10} = 12,832 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Витрати теплоти з урахуванням втрат:

$$Q = G_1 c_1 (t_{1k} - t_{1n}) = 6 \cdot 2366 \cdot (250 - 80) = 2839000 \text{ Вт}.$$

Витрати бутілену:

$$G_2 = \frac{Q}{c_2 (t_{2k} - t_{2n})} = \frac{2839000}{2297(300 - 160)} = 8,829 \text{ кг/с}.$$

Об'ємна витрата:

$$V_1 = \frac{G_1}{\rho_1} = \frac{6}{4,305} = 1,394 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{8,829}{4,615} = 1,913 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Орієнтовно визначаємо максимальну величину площі теплообміну:

$$F_{\max} = \frac{Q}{K_{\min} \Delta t_{cp}} = \frac{2839000}{20 \cdot 43,33} = 3276 \text{ м}^2,$$

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

де $K_{\min} = 20 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ - мінімальне значення коефіцієнта теплопередачі (таблиця 4.8, ст. 172 [15]).

Найкращі умови теплообміну відповідають турбулентному режиму руху теплоносія, коли критерій Рейнольдса:

$$Re' \geq 15000.$$

Для забезпечення турбулентної течії в трубах швидкість повинна бути:

$$\omega'_1 = \frac{Re' \cdot \mu_1}{d_1 \cdot \rho_1} = \frac{15000 \cdot 11,213 \cdot 10^{-6}}{0,021 \cdot 4,305} = 1,86 \text{ м/с},$$

де $d_1 = 0,021 \text{ м}$ - внутрішній діаметр теплообмінної труби.

Кількість необхідних труб $\varnothing 25 \times 2 \text{ мм}$, при $Re = 15000$ становить:

$$n' = \frac{V_1}{0,785 \cdot d_1^2 \cdot \omega'_1} = \frac{1,394}{0,785 \cdot 0,021^2 \cdot 1,86} = 2164.$$

Для турбулентного режиму в трубному просторі накладемо умови $n < n'$, а $F < F_{\max}$.

Попередньо обираємо для теплообміну двоходовий апарат із внутрішнім діаметром кожуха $D = 1400 \text{ мм}$, діаметром труб $\varnothing 25 \times 2 \text{ мм}$, довжиною труб $L = 6 \text{ м}$ та загальною площею теплообміну $F = 675 \text{ м}^2$. [16].

Отже обираємо теплообмінник (ГОСТ 14246-79):

Внутрішній діаметр D , мм	1400;
число ходів z	2;
площа перерізу по трубам, $S_1 \text{ м}^2$	0,247;
довжина труб L , м	6;
поверхня теплообміну F , м^2	675;
площа перерізу в міжтрубному просторі, $S_2 \text{ м}^2$:	0,153.

Кількість перегородок обираємо $x=12$ згідно з [16].

Уточнюємо дійсну кількість труб для обраного теплообмінника:

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d_2 \cdot L} = \frac{675}{3,14 \cdot 0,025 \cdot 6} = 1432.$$

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		36

Уточнення поверхні теплообміну

Швидкість бутану в трубному просторі:

$$\omega_1 = \frac{V_1}{S_1} = \frac{1,394}{0,247} = 5,643 \text{ м/с.}$$

Критерій Рейнольдса для бутану:

$$Re_1 = \frac{\omega_1 d_1 \rho_1}{\mu_1} = \frac{5,643 \cdot 0,021 \cdot 4,305}{11,213 \cdot 10^{-6}} = 45490.$$

Критерій Прандля для бутану при $t_{1cp} = 180^\circ C$:

$$Pr_1 = \frac{c_1 \cdot \mu_1}{\lambda_1} = \frac{2366 \cdot 11,213 \cdot 10^{-6}}{0,035} = 0,758.$$

Критерій Нуссельта трубного простору:

$$Nu_1 = 0,021 \cdot Re_1^{0,8} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_1}{Pr_{ст1}} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_l = 0,021 \cdot 45490^{0,8} \cdot 0,758^{0,43} \cdot 0,99^{0,25} \cdot 1 = 99,025 ,$$

де $\frac{Pr_1}{Pr_{ст1}} = 0,99$ – приймаємо умовно спираючись на процес нагріву; коефіцієнт ε_l приймаємо 1.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до бутану:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \lambda_1}{d_1} = \frac{99,025 \cdot 0,035}{0,021} = 165,042 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Швидкість бутилену в міжтрубному просторі:

$$\omega_2 = \frac{V_2}{S_2} = \frac{1,913}{0,153} = 12,504 \text{ м/с.}$$

Критерій Рейнольдса для бутилену:

$$Re_2 = \frac{\omega_2 d_2 \rho_2}{\mu_2} = \frac{12,504 \cdot 0,025 \cdot 4,615}{12,832 \cdot 10^{-6}} = 1,124 \cdot 10^5.$$

Критерій Прандля для бутилену:

$$Pr_2 = \frac{c_2 \cdot \mu_2}{\lambda_2} = \frac{2297 \cdot 11,832 \cdot 10^{-6}}{0,038} = 0,776.$$

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Критерій Нуссельта для міжтрубного простору:

$$Nu_2 = 0,4 \cdot \varepsilon_\phi \cdot Re_2^{0,6} \cdot Pr_2^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr_2}{Pr_{ct2}} \right)^{0,25} = 0,4 \cdot 1 \cdot 112400^{0,6} \cdot 0,776^{0,36} \cdot 1^{0,25} = 234,969,$$

де $\frac{Pr_2}{Pr_{ct2}} = 1$ – приймаємо умовно за рахунок процесу нагріву; коефіцієнт ε_ϕ приймаємо 1.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до бутилену:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \lambda_2}{d_2} = \frac{234,969 \cdot 0,038}{0,025} = 357,152 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Згідно з рекомендацією таблиця XXXI, ст. 531 [13], прийmemo теплопровідність з боку бутану $r_{зобр1} = 11600 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, теплопровідність з боку бутилену $r_{зобр1} = 11600 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Сумарний термічний опір стінки і забруднень:

$$\sum r_{ct} = \frac{1}{\frac{1}{r_{зобр1}} + \frac{\delta_{ct}}{\lambda_{ct}} + \frac{1}{r_{зобр2}}} = \frac{1}{\frac{1}{11600} + \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{11600}} = 3488 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}},$$

де $\lambda_{ct} = 17,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ – коефіцієнт теплопровідності нержавіючої сталі;

δ_{ct} – товщина стінки:

$$\delta_{ct} = \frac{d_1 - d_2}{2} = \frac{0,025 - 0,021}{2} = 0,002 \text{ м}.$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{ct} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{165,042} + \frac{1}{3488} + \frac{1}{357,152}} = 109,341 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}.$$

Поверхнева густина теплового потоку:

$$q = K \Delta t_{cp} = 109,341 \cdot 43,33 = 4738 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Знайдемо температуру стінок:

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$t_{1\text{ст}} = t_{1\text{сп}} + \frac{q}{\alpha_1} = 180 + \frac{4738}{165,042} = 208,706 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$t_{2\text{ст}} = t_{2\text{сп}} - \frac{q}{\alpha_2} = 230 - \frac{4738}{357,152} = 210,735 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Бутан (при $t_{1\text{ст}} = 208,706 \text{ }^{\circ}\text{C}$):

коефіцієнт теплопровідності:

$$\begin{aligned} \lambda_{1\text{ст}} &= -0,00182 + 1,9396 \cdot 10^{-5} \cdot T_{1\text{ст}} + 1,3818 \cdot 10^{-7} \cdot T_{1\text{ст}}^2 = \\ &= -0,00182 + 1,9396 \cdot 10^{-5} \cdot 481,706 + 1,3818 \cdot 10^{-7} \cdot 481,706^2 = 0,042 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}, \end{aligned}$$

де $T_{1\text{ст}}$ – температура бутану в кельвінах:

$$T_{1\text{ст}} = t_{1\text{ст}} + 273 = 208,706 + 273 = 481,706 \text{ К};$$

питома теплоємність:

$$\begin{aligned} c_{1\text{ст}} &= \frac{20,056 + 2,8153 \cdot 10^{-1} \cdot T_{1\text{ст}} - 1,3143 \cdot 10^{-5} \cdot T_{1\text{ст}}^2 - 9,4571 \cdot 10^{-8} \cdot T_{1\text{ст}}^3 + 3,4149 \cdot 10^{-11} \cdot T_{1\text{ст}}^4}{M_{1\text{м}}} = \\ &= \frac{20,056 + 2,8153 \cdot 10^{-1} \cdot 481,706 - 1,3143 \cdot 10^{-5} \cdot 481,706^2 - 9,4571 \cdot 10^{-8} \cdot 481,706^3}{58,12 \cdot 10^{-3}} + \\ &\quad + \frac{3,4149 \cdot 10^{-11} \cdot 481,706^4}{58,12 \cdot 10^{-3}} = 2,496 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}; \end{aligned}$$

коефіцієнт динамічної в'язкості:

$$\begin{aligned} \mu_{1\text{ст}} &= \frac{(-4,946 + 2,9001 \cdot 10^{-1} \cdot T_{1\text{ст}} - 6,9665 \cdot 10^{-5} \cdot T_{1\text{ст}}^2) \cdot 10^{-6}}{10} = \\ &= \frac{(-4,946 + 2,9001 \cdot 10^{-1} \cdot 481,706 - 6,9665 \cdot 10^{-5} \cdot 481,706^2) \cdot 10^{-6}}{10} = 11,879 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}. \end{aligned}$$

Бутилен (при $t_{2\text{ст}} = 210,735^{\circ}\text{C}$):

коефіцієнт теплопровідності:

$$\begin{aligned} \lambda_{2\text{ст}} &= -0,00293 + 3,0250 \cdot 10^{-5} \cdot T_{2\text{ст}} + 1,0192 \cdot 10^{-7} \cdot T_{2\text{ст}}^2 = \\ &= -0,00293 + 3,0250 \cdot 10^{-5} \cdot 489,735 + 1,0192 \cdot 10^{-7} \cdot 489,735^2 = 0,039 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}; \end{aligned}$$

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

де $T_{2\text{ст}}$ – температура бутілену в кельвінах:

$$T_{2\text{ст}} = t_{2\text{ст}} + 273 = 210,735 + 273 = 489,735 \text{ К};$$

питома теплоємність:

$$c_{2\text{ст}} = \frac{24,915 + 2,0648 \cdot 10^{-1} \cdot T_{2\text{ст}} + 5,9828 \cdot 10^{-5} \cdot T_{2\text{ст}}^2 - 1,4166 \cdot 10^{-7} \cdot T_{2\text{ст}}^3}{M_{2\text{м}}} + \frac{4,7053 \cdot 10^{-11} \cdot T_{2\text{ст}}^4}{M_{2\text{м}}} = \frac{24,915 + 2,0648 \cdot 10^{-1} \cdot 489,735 + 5,9828 \cdot 10^{-5} \cdot 489,735^2}{56,11 \cdot 10^{-3}} - \frac{1,4166 \cdot 10^{-7} \cdot 489,735^3 + 4,7053 \cdot 10^{-11} \cdot 489,735^4}{56,11 \cdot 10^{-3}} = 2,286 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)};$$

коефіцієнт динамічної в'язкості:

$$\eta_{2\text{ст}} = \frac{(-9,143 + 3,1562 \cdot 10^{-1} \cdot T_{2\text{ст}} - 8,4164 \cdot 10^{-5} \cdot T_{2\text{ст}}^2) \cdot 10^{-6}}{10} = \frac{(-9,143 + 3,1562 \cdot 10^{-1} \cdot 489,735 - 8,4164 \cdot 10^{-5} \cdot 489,735^2) \cdot 10^{-6}}{10} = 12,556 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Критерій Прандля для бутану при $t_{1\text{ст}} = 208,706 \text{ }^\circ\text{C}$

$$Pr_{1\text{ст}} = \frac{c_{1\text{ст}} \cdot \mu_{1\text{ст}}}{\lambda_{1\text{ст}}} = \frac{2496 \cdot 11,879 \cdot 10^{-6}}{0,042} = 0,706.$$

Перевіримо прийняте значення:

$$\left(\frac{Pr_1}{Pr_{1\text{ст}}} \right)^{0,25} = \left(\frac{0,758}{0,706} \right)^{0,25} = 1,018.$$

Було прийнято $\left(\frac{Pr_1}{Pr_{1\text{ст}}} \right)^{0,25} = 0,997.$

$$\delta_1 = \frac{\left| \left(\frac{Pr_1}{Pr_{1\text{ст}}} \right)_{\text{розр}}^{0,25} - \left(\frac{Pr_1}{Pr_{1\text{ст}}} \right)_{\text{прийн}}^{0,25} \right|}{\left(\frac{Pr_1}{Pr_{1\text{ст}}} \right)_{\text{прийн}}^{0,25}} \cdot 100\% = \frac{|0,997 - 1,018|}{1,018} \cdot 100\% = 2,05\% \leq 5\%.$$

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Різниця із прийнятим значенням складає 5% та лежить у межах допустимої похибки, уточнюючий перерахунок не потрібний.

Критерій Прандля для бутилену при $t_{2\text{ст}} = 210,735 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$Pr_{2\text{ст}} = \frac{c_{2\text{ст}} \cdot \mu_{2\text{ст}}}{\lambda_{2\text{ст}}} = \frac{2286 \cdot 12,556 \cdot 10^{-6}}{0,039} = 0,736.$$

Перевіримо прийняте значення:

$$\left(\frac{Pr_2}{Pr_{2\text{ст}}} \right)^{0,25} = \left(\frac{0,776}{0,736} \right)^{0,25} = 1,013.$$

Було прийнято $\left(\frac{Pr_2}{Pr_{2\text{ст}}} \right)^{0,25} = 1.$

$$\delta_2 = \frac{\left| \left(\frac{Pr_2}{Pr_{2\text{ст}}} \right)_{\text{розр}}^{0,25} - \left(\frac{Pr_2}{Pr_{2\text{ст}}} \right)_{\text{прийн}}^{0,25} \right|}{\left(\frac{Pr_2}{Pr_{2\text{ст}}} \right)_{\text{прийн}}^{0,25}} \cdot 100\% = \frac{|1,013 - 1|}{1} \cdot 100\% = 1,322\% \leq 5\%.$$

Різниця із прийнятим значенням складає 5% та лежить у межах допустимої похибки, уточнюючий перерахунок не потрібний.

Критерій Нуссельта трубного простору при перерахунку $Pr_{1\text{ст}}$:

$$Nu_1 = 0,021 \cdot Re_1^{0,8} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_1}{Pr_{1\text{ст}}} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_l = 0,021 \cdot 45490^{0,8} \cdot 0,758^{0,43} \cdot 1,074^{0,25} \cdot 1 = 101,062 ,$$

де $\frac{Pr_1}{Pr_{1\text{ст}}} = 1,074$ – приймаємо умовно спираючись на процес нагріву; коефіцієнт ε_l

приймаємо 1.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до бутану:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \lambda_1}{d_1} = \frac{101,062 \cdot 0,035}{0,021} = 168,436 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Критерій Нуссельта для міжтрубного простору при перерахунку $Pr_{2\text{ст}}$:

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$Nu_2 = 0,4 \cdot \varepsilon_\phi \cdot Re_2^{0,6} \cdot Pr_2^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr_2}{Pr_{cm2}} \right)^{0,25} = 0,4 \cdot 1 \cdot 112400^{0,6} \cdot 0,776^{0,36} \cdot 1,054^{0,25} = 238,023 ,$$

де $\frac{Pr_2}{Pr_{ст2}} = 1,054$ – приймаємо умовно за рахунок процесу нагріву; коефіцієнт ε_ϕ приймаємо 1.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до бутилену:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \lambda_2}{d_2} = \frac{238,023 \cdot 0,038}{0,025} = 361,795 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{ст} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{168,436} + \frac{1}{3488} + \frac{1}{361,795}} = 111,819 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}.$$

Розрахункова площа поверхні теплообміну:

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{2839000}{111,819 \cdot 43,33} = 586,006 \text{ м}^2.$$

Визначимо запас площі теплообмінника:

$$100\% \cdot \frac{(F - F_p)}{F_p} = 100\% \cdot \frac{(675 - 586,006)}{586,006} = 15,186\%$$

Вибраний теплообмінник задовольняє умовам проектування.

Висновок: для реалізації поставленої задачі нагріву бутану із заданою продуктивністю приймаємо двоходовий горизонтальний кожухотрубний теплообмінник, що має внутрішній діаметр кожуха $D = 1400$ мм, діаметром труб $\varnothing 25 \times 2$ мм, довжину труб $L = 6$ м, загальною площею теплообміну $F = 675 \text{ м}^2$ та загальною кількістю трубок $n = 1432$.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

5.2 Конструктивний розрахунок

Розміщення труб в трубних решітках:

Метою розрахунку є за відомою кількістю трубок і кроком між ними розрахувати діаметр трубної решітки та корпусу апарата.

При розміщенні труб в трубних ґратках необхідно забезпечити максимальну компактність, зручність розміщення трубних ґраток, надійність закріплення трубок. З точки зору задоволення цих вимог найбільш зручною є схема розміщення трубок у вершинах правильних трикутників – шаховий пучок (рисунок.5.2).

Вихідні дані:

загальна кількість трубок, n	1432;
число труб на діагоналі, b	23;
продуктивність в міжтрубному просторі, G_1 , кг/с	6;
продуктивність в трубному просторі, G_2 , кг/с	8,83.

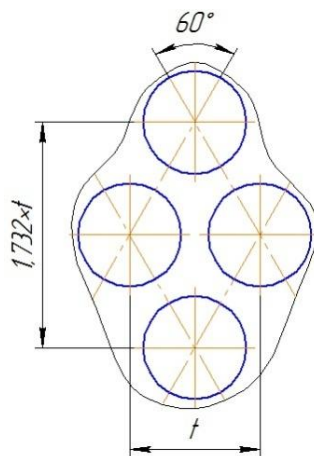


Рисунок 5.2 – Розміщення труб

Методика розрахунку наведена в [17].

Для такого розміщення, яке широко застосовують в промисловій практиці як найбільш компактну схему, зв'язок між загальною кількістю трубок n , числом труб на діагоналі b і числом трубок на стороні найбільшого трикутника

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

виражається співвідношенням:

$$n = 3 \cdot a \cdot (a - 1) + 1$$

$$1432 = 3 \cdot a^2 - 3 \cdot a + 1$$

$$3 \cdot a^2 - 3 \cdot a - 1431 = 0$$

Розв'яжемо рівняння і отримаємо:

$$a = 22,$$

$$b = 2 \cdot a - 1 = 2 \cdot 22 - 1 = 43.$$

Визначаємо дійсну кількість трубок:

$$n = 3 \cdot a \cdot (a - 1) + 1 = 3 \cdot 22 \cdot (22 - 1) + 1 = 1387.$$

Отже, 45 трубок розміщуємо в сегментах.

Міжтрубний крок:

$$t = 1,3 \cdot d_2 = 1,3 \cdot 0,025 = 0,032.$$

Діаметр апарату

$$D = t \cdot (b - 1) + 4 \cdot d_2 = 0,032(43 - 1) + 4 \cdot 0,025 = 1,44.$$

Висновки: при розрахунку дійсної кількості труб 1387, 45 труб розмістити рівномірно по периметру трубної решітки.. Обрахований діаметр апарату збігається з діаметром в попередньо обраному теплообміннику.

5.3 Визначення розмірів штуцерів

Метою розрахунку є вибір стандартних штуцерів за тиском і діаметром умовного проходу. Розрахункова схема штуцера зображена на рисунку 5.3.

Вхідні дані:

Густина бутану ρ_1 , кг/м ³	4,305;
витрати бутану G_1 , кг/с	6;
густина бутилену ρ_2 , кг/м ³	4,615;
витрати бутилену G_2 , кг/с	8,83.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

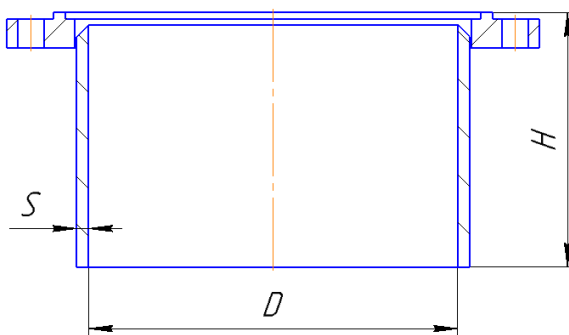


Рисунок 5.3 – Розрахункова схема штуцера

Методику розрахунку ведемо згідно [15].

Діаметр штуцера для входу і виходу бутану:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot \rho_1 \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6}{3,14 \cdot 4,305 \cdot 20}} = 0,298 \text{ м.}$$

де ω – рекомендована швидкість для газів, $\omega = 20 \text{ м/с}$;

Обираємо стандартний штуцер з параметрами:

Тоді дійсна швидкість руху в штуцерах:

$$\omega_1 = \frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot d_1^2 \cdot \rho_1} = \frac{4 \cdot 6}{3,14 \cdot 0,305^2 \cdot 4,305} = 19,076 \text{ м/с.}$$

Діаметр штуцера для входу і виходу бутилену:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot \rho_2 \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,83}{3,14 \cdot 4,615 \cdot 20}} = 0,349 \text{ м.}$$

Обираємо стандартний штуцер з параметрами:

Дійсна швидкість руху в штуцерах:

$$\omega_2 = \frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot d_2^2 \cdot \rho_2} = \frac{4 \cdot 8,83}{3,14 \cdot 0,402^2 \cdot 4,615} = 15,075 \text{ м/с.}$$

Висновок: було розраховано та прийнято стандартні розміри штуцерів для входу і виходу бутану, для входу та для виходу бутилену та дійсні швидкості руху в штуцерах.

5.4 Гідравлічний розрахунок

Метою гідравлічного розрахунку є визначення гідравлічного опору в трубному та міжтрубному просторах теплообмінника.

Методику розрахунку ведемо згідно [15].

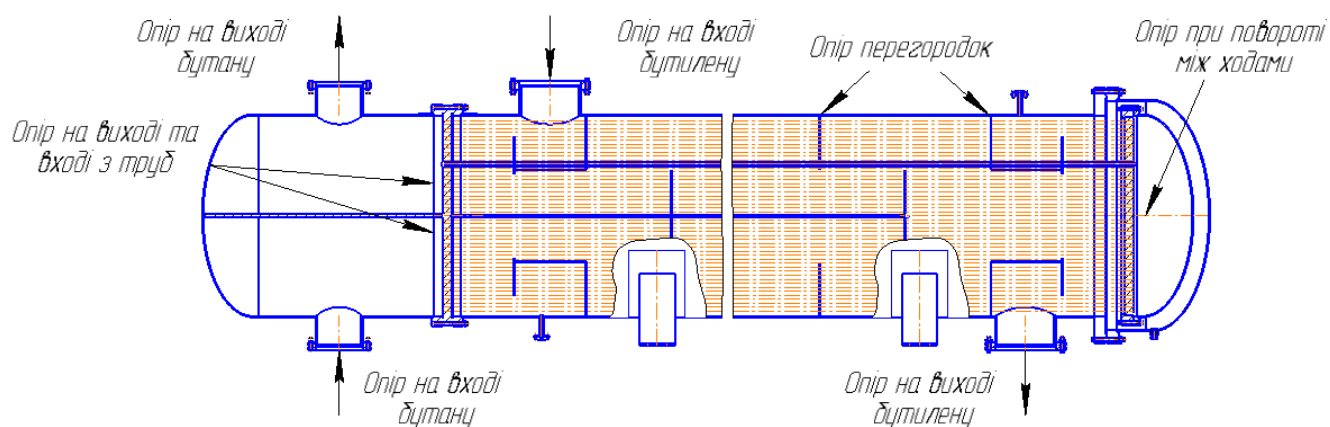


Рисунок 5.4 – Розрахункова схема гідравлічного опору теплообмінника

Вихідні дані для трубного простору

Густина бутану ρ_1 , кг/м ³	4,305;
швидкість бутану в трубному просторі ω_1 , м/с	5,643;
швидкість бутану в штуцерах $\omega_{1ш}$, м/с	19,076;
критерій Рейнольдса для бутану Re_1	45490;
густина бутилену ρ_2 , кг/м ³	4,615;
швидкість бутилену в міжтрубному просторі ω_2 , м/с	12,504;
швидкість бутилену в штуцерах $\omega_{2ш}$, м/с	15,075;
критерій Рейнольдса для бутилену Re_2	112400.

Відносна шорсткість труб:

$$e = \frac{\Delta}{d_2} = \frac{0,2}{21} = 0,0095,$$

де Δ – висота виступів шорсткостей, $\Delta = 2$ мм

При значенні $2000 < Re < 112000$ коефіцієнт тертя визначається:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left[e + \left(\frac{68}{Re_{тр}} \right)^{0,25} \right] = 0,11 \cdot \left[0,095 + \left(\frac{68}{45490} \right)^{0,25} \right] = 0,023.$$

Гідравлічний опір трубного простору:

$$\begin{aligned} \Delta P_1 &= \left[\lambda \cdot \frac{L \cdot z}{d_3} + 2 \cdot z \cdot \xi_{12} + (z-1) \cdot \xi_{13} \right] \cdot \frac{\omega_1^2 \cdot \rho_1}{2} + 2 \cdot \xi_{11} \cdot \frac{\omega_{1ш}^2 \cdot \rho_1}{2} = \\ &= \left[0,023 \cdot \frac{6 \cdot 2}{0,025} + 2 \cdot 2 \cdot 1 + (2-1) \cdot 2,5 \right] \cdot \frac{5,643^2 \cdot 4,305}{2} + 2 \cdot 1,5 \cdot \frac{19,076^2 \cdot 4,305}{2} = \\ &= 5506 \text{ Па}, \end{aligned}$$

де $\xi_{11} \xi_{12} \xi_{13}$ – коефіцієнти місцевого опору, $\xi_{11} = 1,5$, $\xi_{12} = 1$, $\xi_{13} = 2,5$ відповідно.

Витрати потужності:

$$N_1 = \frac{\Delta P_1 \cdot G_1}{\rho_1} = \frac{5506 \cdot 6}{4,305} = 7673 \text{ Вт.}$$

Кількість рядів труб:

$$m = \sqrt{\frac{n}{3}} = \sqrt{\frac{1432}{3}} = 22.$$

Гідравлічний опір міжтрубного простору:

$$\begin{aligned} \Delta P_2 &= \left[\frac{3 \cdot m}{Re_2^{0,2}} \cdot (x+1) + x \cdot \xi_{22} \right] \cdot \frac{\omega_2^2 \cdot \rho_2}{2} + (\xi_{21} + \xi_{23}) \cdot \frac{\omega_{2ш}^2 \cdot \rho_2}{2} = \\ &= \left[\frac{3 \cdot 22}{112400_2^{0,2}} \cdot (12+1) + 12 \cdot 1,5 \right] \cdot \frac{12,504^2 \cdot 4,615}{2} + (1,5+1) \cdot \frac{15,075^2 \cdot 4,615}{2} = 8202 \text{ Па} \end{aligned}$$

де $\xi_{21} \xi_{22} \xi_{23}$ – коефіцієнти місцевого опору, $\xi_{21} = 1,5$, $\xi_{22} = 1,5$, $\xi_{23} = 1$ відповідно.

Витрати потужності:

$$N_2 = \frac{\Delta P_2 \cdot G_2}{\rho_2} = \frac{8202 \cdot 8,829}{4,615} = 15690 \text{ Вт.}$$

Висновок: визначено гідравлічний опір трубного й міжтрубного просторів теплообмінника $\Delta P_1 = 5506 \text{ Па}$ і $\Delta P_2 = 8202 \text{ Па}$ відповідно. Витрати потужності

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

дорівнюють: $N_1 = 7673$ Вт для трубного простоту, $N_2 = 15690$ Вт для міжтрубного простору.

5.5 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки

Метою даного розрахунку є визначення товщини стінки циліндричної обичайки і перевірка її на міцність.

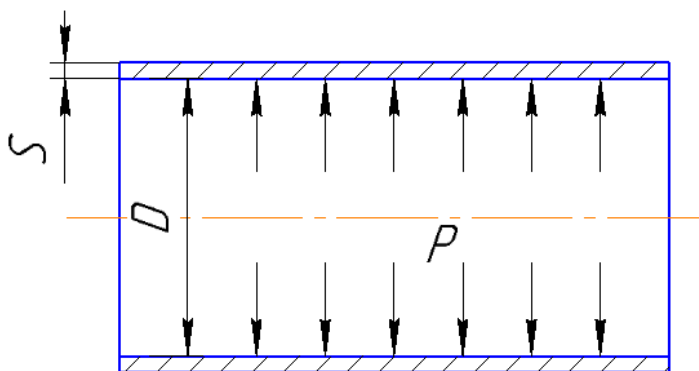


Рисунок 5.5 – Схема товщини стінки обичайки

Вхідні дані:

Тиск всередині апарата P , МПа	0,8;
внутрішній діаметр апарата D , м	1,4;
допустиме напруження для матеріалу обичайки (сталь 09ГС2) $[\sigma]$, МПа	162.

Методика проведення даного розрахунку складена згідно ГОСТ 14249-89 і передбачає розрахунок товщини обичайки, що знаходиться під дією внутрішнього тиску, із урахування додатків на корозію і зручності транспортування і монтажу [18].

Номінальна товщина стінки циліндричної обичайки :

$$S_R = \frac{D \cdot P}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_{ш} - P} = \frac{1,4 \cdot 0,8}{2 \cdot 162 \cdot 0,9 - 0,8} = 3,851 \text{ мм}, \quad (5.1)$$

де $\varphi_{\text{ш}}$ - коефіцієнт міцності зварних швів, $\varphi_{\text{ш}} = 0,9$.

Приймаємо $S_R = 8$ мм – рекомендована мінімальна товщина стінки для даного діаметра [2, табл., 15].

$$S = S_R + C_1 + C_2 + C_3 = 8 + 0,5 + 0,5 + 0 = 9 \text{ мм}, \quad (5.2)$$

де C_1 – прибавка на компенсацію корозії та ерозії

$$C_1 = v \cdot \tau = 0,05 \cdot 10 = 0,5 \text{ мм}, \quad (5.3)$$

де v - швидкість корозії, $v = 0,05$ мм/рік;

τ - строк служби, $\tau = 10$ років.

C_2 – прибавка на компенсацію мінусового допуску до товщини листа, $C_2 = 0,5$ мм,

C_3 – технологічна прибавка, яка дорівнює, $C_3 = 0$ мм.

Допустимий тиск в обичайці:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_{\text{ш}} \cdot (S - C)}{D + (S - C)} = \frac{2 \cdot 162 \cdot 0,9 \cdot (9 - 1) \cdot 10^{-3}}{1,4 + (9 - 1) \cdot 10^{-3}} = 1,657 \text{ МПа}. \quad (5.4)$$

Перевіряємо умову міцності:

$$P \leq [P]$$

Таблиця ідентифікаторів, алгоритмічна схема та програма розрахунку знаходиться в додатку Б.

Висновок: Через те, що умови застосування формул виконуються, а допустимий внутрішній надлишковий тиск більший за розрахунковий, то приймаємо товщину стінки $S = 8$ мм.

5.6 Розрахунок еліптичного днища

Метою даного розрахунку є визначення товщини кришки та перевірка виконання умови міцності.

Схема до розрахунку еліптичної кришки приведена на рисунку 5.6.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

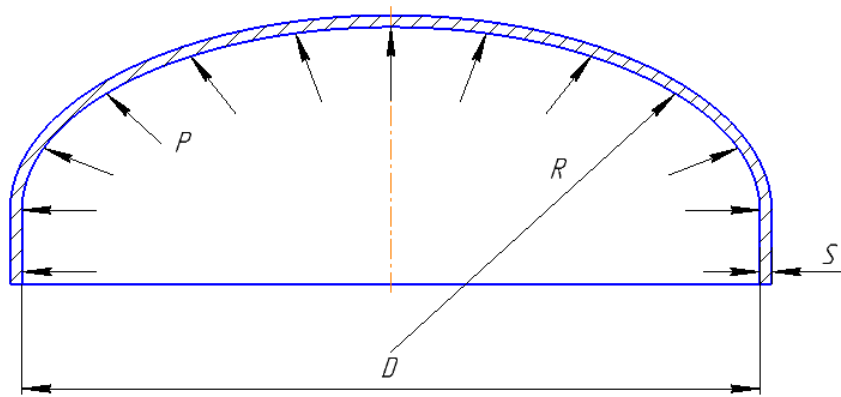


Рисунок 5.6 – Схема до розрахунку еліптичної кришки

Вхідні дані:

Тиск всередині апарата P , МПа	0,8;
внутрішній діаметр апарата D , м	1,4;
допустиме напруження для матеріалу обичайки (сталь 09ГС2) $[\sigma]$, МПа	162.

Методику розрахунку ведемо згідно [18].

Товщина стінки еліптичної кришки:

$$S_R = \frac{D \cdot P}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_{ш} - 0.5 \cdot P} = \frac{1,4 \cdot 0,8}{2 \cdot 162 \cdot 0,9 - 0,5 \cdot 0,8} = 3,864 \text{ мм.}$$

Приймаємо $S_R = 8$ мм – рекомендована мінімальна товщина стінки для даного діаметра [13, табл. 15.3].

Виконавча товщина стінки еліптичної кришки:

$$S = S_R + C = 8 + 1 = 9 \text{ мм.}$$

Обчислюємо висоту еліптичної частини днища та радіус кривизни при вершині днища:

$$H = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 1,4 = 0,35,$$

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = \frac{1,4^2}{4 \cdot 0,35} = 1,4.$$

Допустимий тиск в еліптичній кришці:

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_{ш} \cdot (S - C)}{D + (S - C)} = \frac{2 \cdot 162 \cdot (9 - 1) \cdot 10^{-3}}{1,4 + 0,5 \cdot (9 - 1) \cdot 10^{-3}} = 1,662 \text{ МПа.}$$

Перевіряємо умову міцності:

$$P \leq [P],$$

$$0,8 \text{ МПа} \leq 1,662 \text{ МПа.}$$

Вибираємо днище: $D_b = 1400 \text{ мм}$, $h_b = 280 \text{ мм}$, $h = 40 \text{ мм}$.

Висновок: Значення робочого тиску $P = 0,1 \text{ МПа}$ не перевищує значення допустимого тиску $[P] = 1,662 \text{ МПа}$. Умова міцності виконується, отже розрахована виконавча товщина стінки еліптичного днища $S = 8 \text{ мм}$.

5.7 Розрахунок фланцевого з'єднання

Метою розрахунку є вибір та перевірочний розрахунок фланців для забезпечення з'єднання корпусу апарата з розподільною камерою, а також герметичність з'єднання.

Схема фланцевого з'єднання наведена на рисунок 5.7.

Розрахунок проводимо згідно методики наведеної в [19], складена згідно норм за ОСТ 26-373-78 і передбачає визначення навантажень на кріпильні деталі, обчислення напружень у кріпильних деталях і порівняння їх з допустимими, знаходження напруження в найбільш небезпечних перерізах фланців та порівняння їх з допустимими та перевірку фланців на жорсткість за умовою герметичності.

Вибір стандартних фланців здійснюємо згідно із [19].

На підставі проведених розрахунків вибираємо стандартний фланець згідно ГОСТ 28759-90 і знаючи його геометричні параметри, а також механічні властивості матеріалу фланців та матеріалу болтів запишемо початкові дані для перевірочного розрахунку фланцевого з'єднання:

Далі описуються результати розрахунків, що містять елементи порядку

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

розрахунку.

Попередній геометричний розрахунок:

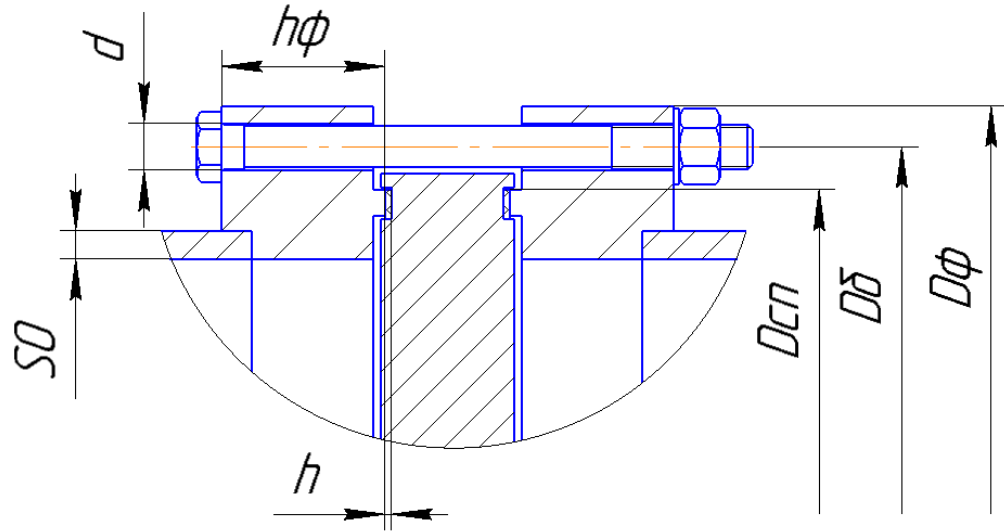


Рисунок 5.7 – Схема фланцевого з'єднання

Вихідні дані:

Робоча температура фланців t_{ϕ} , °C	230
робоча температура болтів $t_{\text{б}}$, °C	223,1
геометричні параметри фланця:	
внутрішній діаметр, D , м	1,4;
діаметр фланця, D_{ϕ} , м	1,550;
діаметр болтового кола, $D_{\text{б}}$, м	1,510;
товщина фланця, $h_{\phi 1}$, м	0,08;
товщина фланця, $h_{\phi 2}$, м	0,08;
параметри прокладки	
зовнішній діаметр прокладки, $D_{\text{п}}$, м	1,468;
ширина прокладки, b , м	0,0145;
товщина прокладки, h , м	0,003;
матеріал прокладки	Пароніт
	ГОСТ 28759-90;
допустиме питоме навантаження, q , МПа	130;

коефіцієнт, m	2,5;
модуль пружності матеріалу прокладки, $E_{\text{пр}}^t$, МПа	2000;
матеріал фланців	09ГС2;
допустиме напруження, $[\sigma]_{\text{ф}}^{20}$, МПа	196
допустиме напруження, $[\sigma]_{\text{ф}}^t$, МПа	162;
модуль пружності, $E_{\text{ф}}^t$, МПа	$2 \cdot 10^5$;
коефіцієнт відносного лінійного розширення, $\alpha_{\text{ф}}^t$, K^{-1}	$15,3 \cdot 10^{-6}$;
внутрішній тиск, $P_{\text{тр}}$, МПа	0,8;
кількість болтів, $z_{\text{Б}}$	68;
діаметр різьби шпильок, $d_{\text{Б}}$, м	0,022;
внутрішній діаметр, $d_{0\text{Б}}$, м	0,023;
матеріал шпильок	сталь 35Х ГОСТ 28759-90;
мінімальне питоме навантаження, $q_{\text{Б}}$, МПа	20;
допустиме напруження, $[\sigma]_{\text{Б}}^{20}$, МПа	230;
допустиме напруження, $[\sigma]_{\text{Б}}^t$, МПа	222;
модуль пружності, $E_{\text{Б}}^t$, МПа	$2 \cdot 10^5$;
коефіцієнт відносного лінійного розширення, $\alpha_{\text{Б}}^t$, K^{-1}	$13,8 \cdot 10^{-6}$.

Для перевірного розрахунку фланцевих з'єднань скористаємось алгоритмом запропонованим авторами [19], згідно з яким проводяться розрахунок наступних величин:

Розрахунок допоміжних величин:

Відношення більшої товщини втулки до меншої:

$$\beta = 1$$

Середній діаметр прокладки:

$$D_{\text{ср}} = D_{\text{п}} - b = 1,468 - 0,0145 = 1,454 \text{ м},$$

де $D_{\text{п}}$ – зовнішній діаметр прокладки, м;

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

b – ширина прокладки, м.

Оскільки $b \leq 0,015$ м, то ефективна ширина прокладки:

$$b_E = 0,5 \cdot b = 0,5 \cdot 0,0145 = 0,00725 \text{ м.}$$

Конструктивний коефіцієнт для фланців:

$$K = \frac{D_\Phi}{D} = \frac{1,55}{1,4} = 1,107,$$

де D_Φ – зовнішній діаметр фланця;

D – умовний внутрішній діаметр фланця.

Конструктивні коефіцієнти для фланців:

$$\lambda_{\Phi 1} = \frac{h_{\Phi 1}}{\sqrt{D \cdot S_o}} = \frac{0,08}{\sqrt{1,4 \cdot 0,012}} = 0,617,$$

$$\lambda_{\Phi 2} = \frac{h_{\Phi 2}}{\sqrt{D \cdot S_o}} = \frac{0,08}{\sqrt{1,4 \cdot 0,012}} = 0,617;$$

де $h_{\Phi 1}$, $h_{\Phi 2}$ – товщини фланців, м;

S_o – товщина стінки апарата з втулкою, приймаємо $S_o = 0,012$ м.

Поправкові коефіцієнти для фланців:

$$\psi_{1\Phi} = 1,28 \cdot \lg K_\Phi = 1,28 \cdot \lg 1,107 = 0,057,$$

$$\psi_{2\Phi} = \frac{K_\Phi + 1}{K_\Phi - 1} = \frac{1,107 + 1}{1,107 - 1} = 19,667.$$

Геометричні параметри фланців:

$$j_{\Phi 1} = \frac{h_{\Phi 1}}{S_o} = \frac{0,08}{0,012} = 6,667,$$

$$j_{\Phi 2} = \frac{h_{\Phi 2}}{S_o} = \frac{0,08}{0,012} = 6,667.$$

Безрозмірні параметри фланців:

$$T_\Phi = \frac{K_\Phi^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K_\Phi) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_\Phi^2) \cdot (K_\Phi - 1)} = \frac{1,107^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,07) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,07^2)(1,07 - 1)} = 1,873,$$

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

$$\omega_{\phi 1} = \left(1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1} \cdot \left(1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 1}^2\right)\right)^{-1} = (1 + 0,9 \cdot 0,617 \cdot (1 + 0,057 \cdot 6,667^2))^{-1} = 0,339,$$

$$\omega_{\phi 2} = \left(1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2} \cdot \left(1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 2}^2\right)\right)^{-1} = (1 + 0,9 \cdot 0,617 \cdot (1 + 0,057 \cdot 6,667^2))^{-1} = 0,339.$$

Кутова піддатливість фланців:

$$y_{\phi 1} = \frac{\left(1 - \omega_{\phi 1} \cdot \left(1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1}\right)\right) \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 1}^3 \cdot E_{\phi 1}} = \frac{(1 - 0,339 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,617)) \cdot 19,667}{0,08^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,091 \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}},$$

$$y_{\phi 2} = \frac{\left(1 - \omega_{\phi 2} \cdot \left(1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2}\right)\right) \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 2}^3 \cdot E_{\phi 2}} = \frac{(1 - 0,339 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,617)) \cdot 19,667}{0,08^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,091 \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}},$$

де $E_{\phi 1}$ і $E_{\phi 2}$ – модуль поздовжньої пружності матеріалу фланців, Па.

Розрахункова довжина болтів фланцевого з'єднання :

$$L_{\text{Б}} = h_{\phi 1} + h_{\phi 2} + h + 0,28 \cdot d_{\text{Б}} = 0,08 + 0,08 + 0,003 + 0,28 \cdot 0,02 = 0,169 \text{ м},$$

де h – товщина прокладки, м;

$d_{\text{Б}}$ – зовнішній діаметр різьби болтів, м.

Лінійна піддатливість прокладки:

$$y_{\text{п}} = \frac{h}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b \cdot E_{\text{п}}} = \frac{0,003}{3,14 \cdot 1,454 \cdot 0,015 \cdot 2000} = 2,265 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{МН}},$$

де $E_{\text{п}}$ - модуль повздовжньої пружності матеріалу прокладки, Па.

Площа поперечного перерізу болта:

$$f_{\text{Б}} = 0,785 \cdot d_0^2 = 0,785 \cdot 0,017^2 = 2,349 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

де d_0 – внутрішній діаметр різьби болтів, м.

Лінійна піддатливість болтів:

$$y_{\text{Б}} = \frac{L_{\text{Б}}}{E_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}} \cdot z_{\text{Б}}} = \frac{0,169}{2,084 \cdot 10^5 \cdot 2,349 \cdot 10^{-4} \cdot 68} = 5,063 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{МН}},$$

де $E_{\text{Б}}$ – модуль поздовжньої пружності матеріалу болтів, Па.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання:

$$A_{\phi} = \left(y_{\pi} + y_{\text{Б}} + 0,25 \cdot (y_{\phi 1} + y_{\phi 2}) \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{сп}})^2 \right)^{-1} =$$

$$= (2,265 \cdot 10^{-5} + 5,063 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,091 + 0,091) \cdot (1,51 - 1,454)^2)^{-1} = 4580 \frac{\text{МН}}{\text{м}}.$$

Параметр жорсткості фланців:

$$B_{\phi 1} = y_{\phi 1} \cdot (D_{\text{Б}} - D - S_0) = 0,091 \cdot (1,51 - 1,4 - 0,012) = 0,0089 \frac{1}{\text{МН}},$$

$$B_{\phi 2} = y_{\phi 2} \cdot (D_{\text{Б}} - D - S_0) = 0,091 \cdot (1,51 - 1,4 - 0,012) = 0,0089 \frac{1}{\text{МН}}.$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання:

$$\gamma = A_{\phi} \cdot y_{\text{Б}} = 4580 \cdot 5,063 \cdot 10^{-5} = 0,232.$$

Безрозмірний коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\alpha_{\phi} = A_{\phi} \cdot \left(y_{\text{Б}} + 0,25 (B_{\phi 1} + B_{\phi 2}) (D_{\text{Б}} - D_{\text{сп}}) \right) =$$

$$= 4580 \cdot (5,063 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,0089 + 0,0089) \cdot (1,51 - 1,454)) = 1,384.$$

Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$Q_{\text{г}} = 0,785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 1,454^2 \cdot 0,8 = 1,327 \text{ МН},$$

де p – внутрішній надлишковий тиск в апараті.

Реакція прокладки в робочих умовах:

$$R_{\pi} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{Е}} \cdot m \cdot p = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,454 \cdot 0,00725 \cdot 2,5 \cdot 0,8 = 0,132 \text{ МН}.$$

Зусилля, що виникає від температурної деформації фланцевого з'єднання:

$$Q_{\text{тф}} = \gamma \cdot z_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}} \cdot E_{\text{Б}} \left(\alpha'_{\phi} \cdot t_{\phi} - \alpha'_{\text{Б}} \cdot t_{\text{Б}} \right) =$$

$$= 0,232 \cdot 68 \cdot 2,349 \cdot 10^{-4} \cdot 2,084 \cdot 10^5 \cdot (15,3 \cdot 10^{-6} \cdot 230 - 13,8 \cdot 10^{-6} \cdot 223,1) =$$

$$= 0,37 \text{ Н},$$

де α'_{ϕ} і $\alpha'_{\text{Б}}$ – коефіцієнти відносного лінійного розширення відповідно матеріалу фланця і болтів, $1/\text{К}$;

t_{ϕ} і $t_{\text{Б}}$ – температури відповідно фланця і болтів.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Монтажне болтове навантаження фланцевого з'єднання за різних умов розрахунку:

$$P'_{Б1} = \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_E \cdot q = 3,14 \cdot 1,454 \cdot 0,00725 \cdot 20 = 0,662 \text{ МН},$$

$$P''_{Б1} = \alpha_{\Phi} \cdot (Q_g + P) + R_{\Pi} = 1,384 \cdot (1,327 + 0) + 0,132 = 1,969 \text{ МН},$$

$$P'''_{Б1} = 0,4 \cdot [\sigma_B]^{20} \cdot z_B \cdot f_B = 0,4 \cdot 230 \cdot 68 \cdot 2,349 \cdot 10^{-4} = 1,47 \text{ МН},$$

де q – мінімальний тиск на прокладку, який забезпечує герметичність з'єднання, $q = 20$ МПа;

$[\sigma_B]^{20}$ – границя міцності матеріалу болтів при температурі 20°C

$$[\sigma_B]^{20} = 230 \text{ МПа}.$$

Розрахункове навантаження на болти:

Оскільки $p > 0,6$ МПа, то

$$P_{Б1} = \max(P'_{Б1}; P''_{Б1}) = \max(0,662; 1,969) = 1,969 \text{ МН}.$$

Умова міцності прокладки:

$$\frac{P_{Б1}}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b} \leq [q].$$

$$\frac{1,969}{3,14 \cdot 1,454 \cdot 0,015} = 29,737 \leq 130,$$

де $[q]$ – допустиме питоме навантаження зминання прокладки, $[q] = 130$ МПа.

Умова міцності виконується.

Болтове навантаження за робочих умов:

$$\begin{aligned} P_{Б2} &= P_{Б1} + (1 - \alpha_{\Phi}) \cdot (Q_g + P) + Q_{\Phi} = \\ &= 1,969 + (1 - 1,384) \cdot (1,327 + 0) + 0,37 = 1,829 \text{ МН}. \end{aligned}$$

Розрахункове навантаження на болти:

$$P_{Б\Phi} = \max(P_{Б1}; P_{Б2}) = \max(1,969; 1,829) = 1,969 \text{ МН}.$$

Напруження розтягання в болтах за умов монтажу:

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

$$\sigma_{\text{Б}}^{20} = \frac{P_{\text{Б1}}}{z_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}}} = \frac{1,969}{68 \cdot 2,349 \cdot 10^{-4}} = 123,241 \text{ МПа}.$$

Напруження розтягання в болтах за робочих умов:

$$\sigma_{\text{Б}}^t = \frac{P_{\text{Б2}}}{z_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}}} = \frac{1,829}{68 \cdot 2,349 \cdot 10^{-4}} = 114,465 \text{ МПа}.$$

Крутний момент, що виникає від розтягування гайок:

$$M_{\text{скр}} = f_1 \cdot \frac{P_{\text{БФ}}}{z_{\text{Б}}} \cdot d_{\text{Б}} = 0,1 \cdot \frac{1,969}{68} \cdot 0,02 = 5,791 \cdot 10^{-5} \text{ МН} \cdot \text{м},$$

де f_1 – коефіцієнт тертя, $f_1 = 0,1$.

Дотичне напруження в болтах:

$$\tau_{\text{Б}} = \frac{M_{\text{скр}}}{0,2 \cdot d_0^3} = \frac{5,791 \cdot 10^{-5}}{0,2 \cdot 0,017^3} = 55,922 \text{ МПа}.$$

Еквівалентні напруження в болтах:

$$\sigma_{\text{БЕ}}^{20} = \sqrt{(\sigma_{\text{Б}}^{20})^2 + 3 \cdot \tau_{\text{Б}}^2} = \sqrt{123,241^2 + 3 \cdot 55,922^2} = 156,748 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\text{БЕ}}^t = \sqrt{(\sigma_{\text{Б}}^t)^2 + 3 \cdot \tau_{\text{Б}}^2} = \sqrt{114,465^2 + 3 \cdot 55,922^2} = 149,946 \text{ МПа}.$$

Умови міцності болтів:

$$\sigma_{\text{БЕ}}^{20} \leq [\sigma_{\text{Б}}]^{20}$$

$$156,748 \text{ МПа} \leq 230 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_{\text{БЕ}}^t \leq [\sigma_{\text{Б}}]^t$$

$$149,946 \text{ МПа} \leq 222 \text{ МПа}.$$

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланців за умов монтажу:

$$M_{01\Phi} = 0,5 \cdot P_{\text{Б1}} \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{сп}}) = 0,5 \cdot 1,969 \cdot (1,51 - 1,454) = 0,056 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланців за робочих умов:

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

$$M_{02\Phi} = 0,5 \cdot (P_{Б2} (D_{Б} - D_{сп}) + Q_g (D_{сп} - D - S_0)) \frac{[\sigma_{\Phi}]^{20}}{[\sigma_{\Phi}]^t} =$$

$$= 0,5 \cdot (1,829 \cdot (1,51 - 1,454) + 1,327 \cdot (1,454 - 1,4 - 0,012)) \frac{196}{162} = 0,096 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$\text{де } \frac{[\sigma_{\Phi}]^{20}}{[\sigma_{\Phi}]^t} = \max \left(\frac{[\sigma_{\Phi1}]^{20}}{[\sigma_{\Phi1}]^t}; \frac{[\sigma_{\Phi2}]^{20}}{[\sigma_{\Phi2}]^t} \right) = \max \left(\frac{196}{162}; \frac{196}{162} \right) = \frac{196}{162},$$

де $[\sigma_{\Phi1}]^{20}$ і $[\sigma_{\Phi2}]^{20}$ – допустимі напруження матеріалу фланців при температурі 293°K, МПа;

$[\sigma_{\Phi1}]^t$, $[\sigma_{\Phi2}]^t$ – допустимі напруження матеріалу фланців при робочій температурі, МПа.

Розрахунковий згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця:

$$M_{o\Phi} = \max(M_{o1}; M_{o2}) = \max(0,056; 0,096) = 0,096 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Максимальні напруження в перерізі S_0 фланців від дії згинаючого моменту

$M_{o\Phi}$:

$$\sigma_{o\Phi1} = \psi_3 \cdot \frac{T_{\Phi} \cdot M_{o\Phi} \cdot \omega_{\Phi1}}{D \cdot (S_o - C)^2} = 1 \cdot \frac{1,873 \cdot 0,056 \cdot 0,339}{1,4 \cdot (0,012 - 0,001)^2} = 358,749 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{o\Phi2} = \psi_3 \cdot \frac{T_{\Phi} \cdot M_{o\Phi} \cdot \omega_{\Phi2}}{D \cdot (S_o - C)^2} = 1 \cdot \frac{1,873 \cdot 0,056 \cdot 0,339}{1,4 \cdot (0,012 - 0,001)^2} = 358,749 \text{ МПа},$$

де ψ_3 – коефіцієнт поправки для перерізу S_0 , $\psi_3 = 1$.

Максимальні кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинаючого моменту $M_{o\Phi}$:

$$\sigma_{к\Phi1} = \frac{M_{o\Phi} \cdot (1 - \omega_{\Phi1} (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\Phi1})) \cdot \psi_{2\Phi}}{D \cdot h_{\Phi1}^2} = \frac{0,096 \cdot (1 - 0,339 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,617)) \cdot 19,667}{1,4 \cdot 0,08^2} =$$

$$= 99,501 \text{ МПа},$$

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

$$\sigma_{\kappa\Phi 2} = \frac{M_{o\Phi} \cdot (1 - \omega_{\Phi 2} (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\Phi 2})) \cdot \psi_{2\Phi}}{D \cdot h_{\Phi 2}^2} = \frac{0,096 \cdot (1 - 0,339 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,617)) \cdot 19,667}{1,4 \cdot 0,08^2} = 99,501 \text{ МПа.}$$

Кільцеве та меридіональне напруження у циліндричній втулці фланця від дії внутрішнього тиску p :

$$\sigma_{x\Phi 1} = \sigma_{x\Phi 2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (S_o - C)} = \frac{0,8 \cdot 1,4}{2 \cdot (0,012 - 0,001)} = 50,909 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{y\Phi 1} = \sigma_{y\Phi 2} = \frac{p \cdot D}{4 \cdot (S_o - C)} = \frac{0,8 \cdot 1,4}{4 \cdot (0,012 - 0,001)} = 25,455 \text{ МПа.}$$

Еквівалентні напруження в перерізі циліндричної втулки фланців:

$$\begin{aligned} \sigma_{E\Phi 1} &= \sqrt{(\sigma_{o\Phi 1} + \sigma_{y\Phi 1})^2 + \sigma_{x\Phi 1}^2 - (\sigma_{o\Phi 1} + \sigma_{y\Phi 1}) \cdot \sigma_{x\Phi 1}} = \\ &= \sqrt{(358,749 + 25,455)^2 + 50,909^2 - (358,749 + 25,455) \cdot 50,909} = 361,448 \text{ МПа,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{E\Phi 2} &= \sqrt{(\sigma_{o\Phi 2} + \sigma_{y\Phi 2})^2 + \sigma_{x\Phi 2}^2 - (\sigma_{o\Phi 2} + \sigma_{y\Phi 2}) \cdot \sigma_{x\Phi 2}} = \\ &= \sqrt{(358,749 + 25,455)^2 + 50,909^2 - (358,749 + 25,455) \cdot 50,909} = 361,448 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Умови міцності:

$$\begin{aligned} \sigma_{E\Phi 1} &\leq [\sigma_{\Phi 1}^{S_o}] \cdot \varphi \\ 361,448 &\leq (600 \cdot 0,9 = 540) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{E\Phi 2} &\leq [\sigma_{\Phi 2}^{S_o}] \cdot \varphi \\ 361,448 &\leq (600 \cdot 0,9 = 540), \end{aligned}$$

де $[\sigma_{\Phi 1}^{S_o}]$, $[\sigma_{\Phi 2}^{S_o}]$ – допустимі напруження матеріалу фланця у перерізі S_o ,

$$[\sigma_{\Phi 1}^{S_o}] = [\sigma_{\Phi 2}^{S_o}] = 0,003 \cdot E_{\Phi}^t = 0,003 \cdot 2 \cdot 10^5 = 600 \text{ МПа}$$

φ - коефіцієнт міцності зварних швів, $\varphi = 0,9$.

Умови міцності виконуються.

Умови герметичності:

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

При $D \leq 2 \text{ м}$ $[\theta] = 0,009 \text{ рад}$

$$\frac{\sigma_{\text{кФ1}} \cdot D}{h_{\text{Ф1}} \cdot E_{\text{Ф1}}} \leq [\theta]$$

$$\frac{99,501 \cdot 1,4}{0,08 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,0087 \leq 0,009$$

$$\frac{\sigma_{\text{кФ2}} \cdot D}{h_{\text{Ф2}} \cdot E_{\text{Ф2}}} \leq [\theta]$$

$$\frac{99,501 \cdot 1,4}{0,08 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,0087 \leq 0,009.$$

Умови герметичності виконуються.

Висновок: Приймаємо стандартні плоскі приварні фланці з такими параметрами:

Внутрішній діаметр D , м	1400;
діаметр фланця, $D_{\text{Ф}}$, м	1,550;
діаметр болтового кола, $D_{\text{Б}}$, м	1,510;
товщина фланця, $h_{\text{Ф}}$, м	0,08;
матеріал фланця	09Г2С.

5.8 Розрахунок опор теплообмінника

Мета розрахунку: вибрати сідлову опору для апарату; перевірити на міцність та стійкість обичайку від дії реакцій сідлових опор.

Схема спирання посудини на сідлові опори та основна розрахункова схема зображені на рисунках 5.8 та 5.9.

Для встановлення горизонтальних апаратів на робочому місці застосовують сідлові опори. Даний теплообмінник необхідно встановлювати на сідлових опорах типу 2 виконання 1 [20].

Ескіз сідлової опори зображений на рисунку 5.10.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

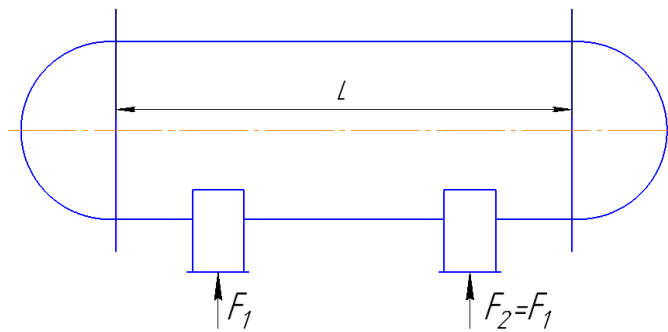


Рисунок 5.8 – Схема спираання посудини на сідлові опори

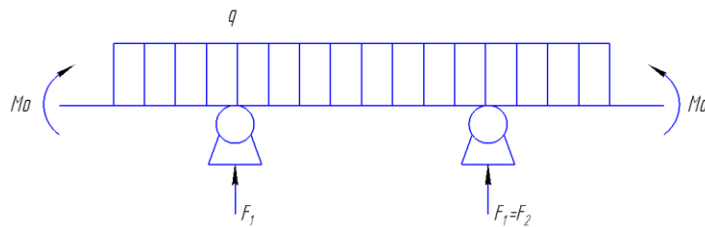


Рисунок 5.9 – Основна розрахункова схема для визначення опорних зусиль

Розрахунок проводимо згідно методики наведеної в [20], яка передбачає перевірку міцності та стійкості корпусу апарата від дії опорних навантажень, і, якщо необхідно, визначення товщини та ширини підкладного листа.

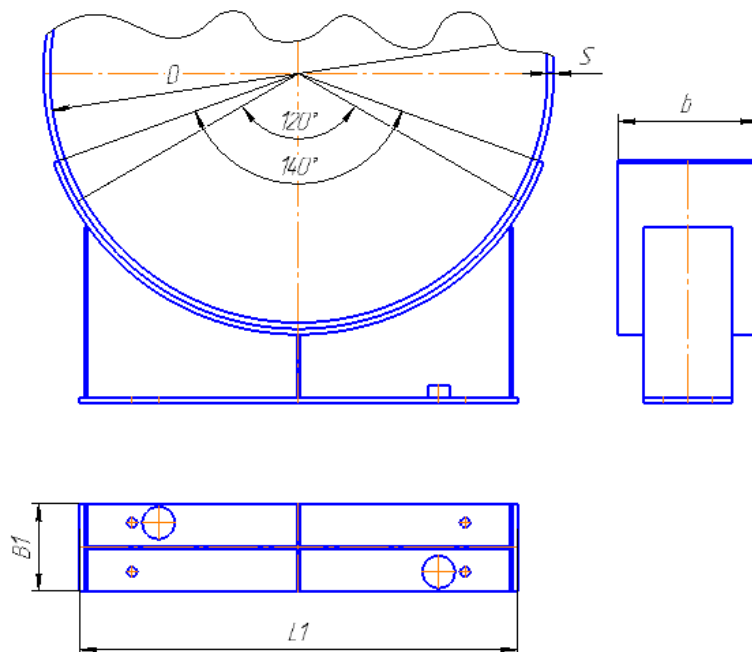


Рисунок 5.10 – Ескіз сідлової опори

Вихідні дані:

Вага апарата G , МН	0,1804;
кількість опор n	2;
внутрішній надлишковий тиск P , МПа	0,8;
внутрішній діаметр обичайки D , м	1,4;
товщина обичайки S , м	0,008;
додаток до розрахункової товщини C , м	0,001;
довжина циліндричної частини корпусу L , м	6;
відстань між опорами l_1 , м	3;
відстань від опори до краю циліндричної частини корпусу a_1 , м	1,5;
кут охоплення обичайки опорним листом δ	140°;
ширина листа b , м	0,25;
матеріал корпусу	09ГС2
допустиме напруження при розрахунковій температурі $[\sigma]^t$, МПа	196;
модуль пружності при розрахунковій температурі E^t , МПа	$2 \cdot 10^5$

Навантаження на горизонтальні опори:

Розподілене навантаження за довжиною апарата:

$$q = \frac{G}{L + \frac{4}{3}H} = \frac{0,18}{6 + \frac{4}{3} \cdot 0,32} = 0,028 \text{ МН/м,}$$

де $H=0,32$ м – висота опуклої частини еліптичного днища[18].

Зосереджений момент:

$$M_0 = \frac{qD^2}{4} = \frac{0,028 \cdot 1,4^2}{4} = 0,014 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Відношення:

$$\frac{a_1}{l_1} = \frac{1,5}{1,73} = 0,867.$$

Довжина вільно виступаючої частини еквівалентної посудини:

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

$$e = a_1 + \frac{2}{3} \cdot 0,32 = 1,5 + \frac{2}{3} \cdot 0,32 = 1,713 \text{ м.}$$

Опорне зусилля:

$$F_i = \psi_1 \frac{G}{n} = 1 \cdot \frac{0,18}{2} = 0,09 \text{ МН,}$$

де ψ_1 – коефіцієнт, $\psi_1 = 1$ [16].

Вигинаючий момент над і-тою опорою:

$$M_1 = M_2 = \frac{qe^2}{2} - M_0 = \frac{0,028 \cdot 1,713^2}{2} - 0,014 = 0,027 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Максимальний вигинаючий момент між опорами:

$$\begin{aligned} M_i = M_{12} &= M_0 + F_1 \left(\frac{L}{2} - a_1 \right) - \frac{q}{2} \left(\frac{L}{2} + \frac{4}{3} H \right)^2 = \\ &= 0,014 + 0,09 \cdot \left(\frac{6}{2} - 1,5 \right) - \frac{0,028}{2} \left(\frac{6}{2} + \frac{4}{3} \cdot 0,32 \right)^{0,25} = -0,016 \text{ МН} \cdot \text{м.} \end{aligned}$$

Поперечне зусилля в перерізі над і-тою опорою:

$$Q_i = \frac{L - 2a_1}{4} F_i = \frac{6 - 2 \cdot 1,5}{4} \cdot 0,09 = 0,068 \text{ МН.}$$

Перевірка несучої спроможності обичайки, яка в області опорного вузла не підкріплена підкладним листом та кільцем жорсткості.

Умови застосування розрахункових формул і коефіцієнт міцності зварного шва:

$$60^\circ \leq \delta_1 = 140^\circ \leq 180^\circ,$$

$$\sqrt{D(S - C)} = \sqrt{1,4 \cdot (0,008 - 0,001)} = 0,099 < f = 0,11.$$

Умови виконується, отже $\varphi = 1$.

Параметри системи:

Параметр, що визначається відстанню від вертикальної осі симетрії сідлової опори до днища:

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

$$\gamma = 2,83 \frac{a_1}{D} \sqrt{\frac{S-C}{D}} = 2,83 \cdot \frac{1,5}{1,4} \sqrt{\frac{0,008-0,001}{1,4}} = 0,214.$$

Параметр, що визначається шириною сідлової опори:

$$\beta = 0,91 \frac{b}{\sqrt{D(S-C)}} = 0,91 \frac{0,25}{\sqrt{1,4 \cdot (0,008-0,001)}} = 2,298.$$

Загальне осьове мембранне напруження, що діє в області приєднання опорного вузла:

$$\bar{\sigma}_{\max} = \frac{4M_i}{\pi D^2(S-C)} = \frac{4 \cdot 0,027}{3,14 \cdot 1,4^2 \cdot (0,008-0,001)} = 2,546 \text{ МПа.}$$

Допустимий вигинаючий момент за умовою міцності циліндричної обичайки:

$$[M]_M = \frac{\pi}{4} D(D+S-C)(S-C)[\sigma] =$$

$$= \frac{3,14}{4} \cdot 1,4 \cdot (1,4+0,008-0,001) \cdot (0,008-0,001) \cdot 196 = 2,123 \text{ МПа.}$$

Допустимий вигинаючий момент за умовою стійкості в границях пружності:

$$[M]_E = \frac{89 \cdot 10^{-6} E}{n_c} D^3 \left[\frac{100(S-C)}{D} \right]^{2,5} =$$

$$= \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4} \cdot 1,4^3 \cdot \left[\frac{100(0,008-0,001)}{1,4} \right]^{2,5} = 3,598 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

де n_c – коефіцієнт стійкості, $n_c = 2,4$ [9].

Допустимий вигинаючий момент:

$$[M] = \frac{[M]_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_M}{[M]_E} \right)^2}} = \frac{2,123}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,123}{3,598} \right)^2}} = 1,828 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Допустиме осьове стискуjące зусилля з умов стійкості циліндричної

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

обичайки:

$$\begin{aligned}[F]_M &= \pi(D + S - C)(S - C)[\sigma] = \\ &= 3,14 \cdot (1,4 + 0,008 - 0,001) \cdot (0,008 - 0,001) \cdot 196 = 6,065 \text{ МН.}\end{aligned}$$

Допустиме осьове стискуjące зусилля з умов стійкості в границях пружності:

$$\begin{aligned}[F]_E &= \frac{310 \cdot 10^{-6} E}{n_c} D^2 \left[\frac{100(S - C)}{D} \right]^{2,5} = \\ &= \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4} \cdot 1,4^2 \cdot \left[\frac{100(0,008 - 0,001)}{1,4} \right]^{2,5} = 8,951 \text{ МН.}\end{aligned}$$

Допустиме осьове стискуjące зусилля:

$$[F] = \frac{[F]_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_M}{[F]_E} \right)^2}} = \frac{6,065}{\sqrt{1 + \left(\frac{6,065}{8,951} \right)^2}} = 5,021 \text{ МН.}$$

Допустиме поперечне зусилля за умовами міцності:

$$[Q]_M = 0,25 \cdot \pi \cdot D \cdot (S - C) \cdot [\sigma] = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 1,4 \cdot (0,008 - 0,001) \cdot 196 = 1,509 \text{ МН.}$$

Допустиме поперечне зусилля за умовами стійкості в границях пружності:

$$\begin{aligned}[Q]_E &= \frac{2,4 E (S - C)^2}{n_c} \left[0,18 + 3,3 \frac{D(S - C)}{L^2} \right] = \\ &= \frac{2,4 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (0,008 - 0,001)^2}{2,4} \cdot \left[0,18 + 3,3 \frac{1,4 \cdot (0,008 - 0,001)}{6^2} \right] = 1,773 \text{ МН.}\end{aligned}$$

Допустиме поперечне зусилля:

$$[Q] = \frac{[Q]_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_M}{[Q]_E} \right)^2}} = \frac{1,509}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,509}{1,773} \right)^2}} = 1,149 \text{ МН.}$$

Геометричні характеристики циліндричної обичайки без підкладного листа:

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$$y = \frac{D}{S - C} = \frac{1,4}{0,008 - 0,001} = 200;$$

$$u = \frac{L}{D} = \frac{6}{1,4} = 4,286.$$

Коефіцієнт, що враховує часткове заповнення апарату рідиною:

$$K_9 = \max \{ f(z); 1 \} = \max \{ 1,366; 1 \} = 1,366.$$

де $f(z) = 1,366$ визначається за наступною формулою:

$$\begin{aligned} z = & 1,6 - 0,20924 \cdot (u - 1) + 0,028702 \cdot u \cdot (u - 1) + 0,04795 \cdot 10^{-3} \cdot y \cdot (u - 1) - 0,2391 \cdot \\ & \cdot 10^{-6} \cdot u \cdot y \cdot (u - 1) - 0,89936 \cdot 10^{-6} \cdot (u - 1) \cdot y^2 + 0,88174 \cdot 10^{-6} \cdot u^2 \cdot (u - 1) - 0,75995 \cdot \\ & \cdot 10^{-8} \cdot y^2 \cdot (u - 1) \cdot u^3 + 0,48168 \cdot 10^{-9} \cdot (u - 1) \cdot y = 1,6 - 0,20924 \cdot (200 - 1) + 0,028702 \cdot \\ & \cdot 200 \cdot (200 - 1) + 0,04795 \cdot 10^{-3} \cdot 4,286 \cdot (200 - 1) - 0,2391 \cdot 10^{-6} \cdot 200 \cdot 4,286 \cdot (200 - 1) - \\ & - 0,89936 \cdot 10^{-6} \cdot (200 - 1) \cdot 4,286^2 + 0,88174 \cdot 10^{-6} \cdot 200^2 \cdot (200 - 1) - 0,75995 \cdot 10^{-8} \cdot \\ & \cdot 4,286^2 \cdot (200 - 1) \cdot 200^3 + 0,48168 \cdot 10^{-9} \cdot (200 - 1) \cdot 4,286 = 1,366. \end{aligned}$$

Коефіцієнти, що враховує вплив ширини поясу опори:

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta} \sin \beta}{\beta}; 0,25 \right\} = \max \{ 0,094; 0,25 \} = 0,25,$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta} \sin \beta}{\beta} = \frac{1 - e^{-2,298} \cdot \sin 2,298}{2,298} = 0,519.$$

Коефіцієнти, що враховують вплив кута охоплення:

$$K_{12} = \frac{1,15 - 0,143 \cdot \delta_1 \cdot \frac{\pi}{180}}{\sin \left(0,5 \delta_1 \cdot \frac{\pi}{180} \right)} = \frac{1,15 - 0,143 \cdot 140 \cdot \frac{3,14}{180}}{\sin \left(0,5 \cdot 140 \cdot \frac{3,14}{180} \right)} = 0,852,$$

$$K_{13} = \frac{\max \left\{ 1,7 - \frac{2,1 \delta_1 \cdot \frac{\pi}{180}}{\pi}; 0 \right\}}{\sin(0,5 \delta_1)} = \frac{\max \left\{ 1,7 - \frac{2,1 \cdot 140 \cdot \frac{3,14}{180}}{3,14}; 0 \right\}}{\sin(0,5 \cdot 140 \cdot \frac{3,14}{180})} = 0,071,$$

$$K_{14} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot \delta_1 \cdot \frac{\pi}{180}}{\sin(0,5 \cdot \delta_1 \cdot \frac{\pi}{180})} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot 140 \cdot \frac{3,14}{180}}{\sin(0,5 \cdot 140 \cdot \frac{3,14}{180})} = 0,425.$$

Коефіцієнти, що враховують відстань від осі опори до днища:

$$K_{15} = \min \left\{ 1,0; \frac{0,8\sqrt{\gamma} + 6\gamma}{\delta_1} \right\} = \min \left\{ 1,0; \frac{0,8\sqrt{0,214} + 6 \cdot 0,214}{140 \cdot \frac{3,14}{180}} \right\} =$$

$$= \min \{1,0; 0,678\} = 0,678,$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6\gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3\delta_1}} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6 \cdot 0,214)^2} \cdot \sqrt{\frac{3,14}{3 \cdot 140 \cdot \frac{\pi}{180}}} = 0,84.$$

Коефіцієнти, що враховують геометричні розміри циліндричної обичайки:

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0,6 \sqrt[3]{\frac{D}{S-C}} \frac{b}{D} \delta_1} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,4}{0,008 - 0,001}} \cdot \frac{0,25}{1,4} \cdot 140 \cdot \frac{\pi}{180}} = 0,395,$$

$$K_{19} = \frac{5}{6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{S-C}} \delta_1} = \frac{5}{6 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,4}{0,008 - 0,001}} \cdot 140 \cdot \frac{\pi}{180}} = 0,058.$$

Перевірка несучої спроможності обичайки в перерізі між опорами.

Умова міцності:

$$\frac{pD}{4(S-C)} + \frac{4M_{12}K_9}{\pi D^2(S-C)} \leq \varphi[\sigma],$$

$$\frac{pD}{4 \cdot (S-C)} + \frac{4M_{12}K_9}{\pi D^2 \cdot (S-C)} = \frac{0,8 \cdot 1,4}{4 \cdot (0,008 - 0,001)} + \frac{4 \cdot (-0,016) \cdot 1,366}{3,14 \cdot 1,4^2 \cdot (0,008 - 0,001)} = 38,005 \text{ МПа.}$$

$$\varphi[\sigma] = 1 \cdot 196 = 196 \text{ МПа,}$$

$$38,005 < 196 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Умова стійкості:

$$\frac{|M_{12}|}{[M]} = \frac{0,016}{1,828} = 0,008 < 1.$$

Умова стійкості виконується.

Коефіцієнт K_2 . За робочих умов $K_2=1,2$, за умов монтажу $K_2=1$.

Коефіцієнти, що враховують ступінь навантаження загальними мембранними напруженнями:

У точці 2:

$$\nu_{21}^{(2)} = -\bar{\sigma}_{\max} \frac{K_2}{n_T [\sigma]} = -2,546 \cdot \frac{1,2}{1,5 \cdot 196} = -0,01,$$

$$\nu_{22}^{(2)} = \left(\frac{pD}{4(S-C)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{K_2}{n_T [\sigma]} = \left(\frac{0,8 \cdot 1,4}{4(0,008 - 0,001)} - 2,546 \right) \cdot \frac{1,2}{1,5 \cdot 196} = 0,153.$$

У точці 3:

$$\nu_{21}^{(3)} = 0,$$

$$\nu_{22}^{(3)} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (S-C)} \cdot \frac{K_2}{n_T [\sigma]} = \frac{0,8 \cdot 1,4}{2 \cdot (0,008 - 0,001)} \cdot \frac{1,2}{1,5 \cdot 196} = 0,327.$$

Коефіцієнт, що враховує відношення місцевих мембранних напружень до місцевих напружень вигину.

У точці 2:

Оскільки $\nu_{21}^{(2)} = -0,01 < 0$ то:

$$\nu_{11}^{(2)} = \frac{0,23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = \frac{0,23 \cdot 0,071 \cdot 0,678}{0,852 \cdot 0,25} = 0,052.$$

Оскільки $\nu_{22}^{(2)} = 0,153 > 0$ то:

$$\nu_{12}^{(2)} = -\frac{0,23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -\frac{0,23 \cdot 0,071 \cdot 0,678}{0,852 \cdot 0,25} = -0,052.$$

У точці 3:

Оскільки $\nu_{21}^{(3)} = 0$, то:

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\nu_{11}^{(3)} = -\frac{0,53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0,5\delta)} = -\frac{0,53 \cdot 0,519}{0,425 \cdot 0,84 \cdot 0,395 \cdot \sin(0,5 \cdot 140 \frac{\pi}{180})} = -2,075.$$

Оскільки $\nu_{22}^{(3)} = 0,327 > 0$, то:

$$\nu_{12}^{(3)} = -\frac{0,53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0,5\delta)} = -\frac{0,53 \cdot 0,519}{0,425 \cdot 0,84 \cdot 0,395 \cdot \sin(0,5 \cdot 140 \frac{\pi}{180})} = -2,075$$

Коефіцієнт K_1 .

У точці 2:

Оскільки $\nu_{11}^{(2)} = 0,052 \neq 0$, то:

$$K_{11}^{(2)} = \frac{1 + 3\nu_{11}^{(2)}\nu_{21}^{(2)}}{3(\nu_{11}^{(2)})^2} \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot (\nu_{11}^{(2)})^2 [1 - (\nu_{21}^{(2)})^2]}{[1 + 3\nu_{11}^{(2)}\nu_{21}^{(2)}]^2} + 1} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot 0,052 \cdot 0,01}{3 \cdot 0,052^2} \left(\sqrt{\frac{9 \cdot 0,052^2 \cdot [1 - 0,01^2]}{[1 + 3 \cdot 0,052 \cdot 0,01]^2} + 1} - 1 \right) = 1,488,$$

$$K_{11}^{(2)} = \frac{1 + 3\nu_{12}^{(2)}\nu_{22}^{(2)}}{3(\nu_{12}^{(2)})^2} \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot (\nu_{12}^{(2)})^2 [1 - (\nu_{22}^{(2)})^2]}{[1 + 3\nu_{12}^{(2)}\nu_{22}^{(2)}]^2} + 1} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot (-0,052) \cdot 0,153}{3 \cdot (-0,052)^2} \left(\sqrt{\frac{9 \cdot (-0,052)^2 \cdot [1 - 0,153^2]}{[1 + 3 \cdot (-0,052) \cdot 0,153]^2} + 1} - 1 \right) = 1,492,$$

$$K_1^{(2)} = \min \{ K_{11}^{(2)}, K_{12}^{(2)} \} = \min \{ 1,488; 1,492 \} = 1,488.$$

У точці 3:

Оскільки $\nu_{11}^{(3)} = -2,075 \neq 0$, то:

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned}
K_{11}^{(3)} &= \frac{1 + 3\nu_{11}^{(3)}\nu_{21}^{(3)}}{3(\nu_{11}^{(3)})^2} \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot (\nu_{11}^{(3)})^2 [1 - (\nu_{21}^{(3)})^2]}{[1 + 3\nu_{11}^{(3)}\nu_{21}^{(3)}]^2} + 1} - 1 \right) = \\
&= \frac{1 + 3 \cdot (-2,075) \cdot 0}{3 \cdot (-2,075)^2} \cdot \left(\sqrt{\frac{9 \cdot (-2,075)^2 \cdot [1 - (0)^2]}{[1 + 3 \cdot (-2,075) \cdot 0]^2} + 1} - 1 \right) = 0,0009, \\
K_{11}^{(3)} &= \frac{1 + 3\nu_{12}^{(3)}\nu_{22}^{(3)}}{3(\nu_{12}^{(3)})^2} \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot (\nu_{12}^{(3)})^2 [1 - (\nu_{22}^{(3)})^2]}{[1 + 3\nu_{12}^{(3)}\nu_{22}^{(3)}]^2} + 1} - 1 \right) = \\
&= \frac{1 + 3 \cdot (-2,075) \cdot 0,327}{3 \cdot (-2,075)^2} \cdot \left(-\sqrt{\frac{9 \cdot (-2,075)^2 \cdot [1 - 0,327^2]}{[1 + 3 \cdot (-2,075) \cdot 0,327]^2} + 1} - 1 \right) = 0,542, \\
K_1^{(3)} &= \min \{ K_{11}^{(3)}, K_{12}^{(3)} \} = \min \{ 0,0009; 0,542 \} = 0,0009.
\end{aligned}$$

Граничне напруження вигину:

У точці 2:

$$[\sigma_1]^{(2)} = K_1^{(2)} [\sigma] \frac{n_T}{K_2} = 1,488 \cdot 196 \frac{1,5}{1,2} = 364,646 \text{ МПа.}$$

У точці 3:

$$[\sigma_1]^{(3)} = K_1^{(3)} [\sigma] \frac{n_T}{K_2} = 0,0009 \cdot 196 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 0,231 \text{ МПа.}$$

Допустимі опорні зусилля від навантажень в осьовому напрямку в точці 2:

$$\begin{aligned}
[F]^{(2)} &= \frac{0,7 \cdot [\sigma_1]^{(2)} \sqrt{D \cdot (S - C) \cdot (S - C)}}{K_{10} K_{12}} = \\
&= \frac{0,7 \cdot 364,646 \cdot \sqrt{1,4 \cdot (0,008 - 0,001) \cdot (0,008 - 0,001)}}{0,25 \cdot 0,852} = 0,831 \text{ МН.}
\end{aligned}$$

Допустимі опорні зусилля від навантажень в осьовому напрямку в

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

точці 3:

$$[F]^{(3)} = \frac{0,9 \cdot [\sigma_1]^{(3)} \sqrt{D \cdot (S - C) \cdot (S - C)}}{K_{14} K_{16} K_{17}} =$$

$$= \frac{0,9 \cdot 0,231 \cdot \sqrt{1,6 \cdot (0,008 - 0,001) \cdot (0,008 - 0,001)}}{0,425 \cdot 0,84 \cdot 0,395} = 0,001 \text{ МН}.$$

Ефективне осьове зусилля від місцевих мембранних напружень, що діють в області опори:

$$F_e = F_i \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{D}{S - C}} K_{13} K_{15} =$$

$$= 0,09 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot \sqrt{\frac{1,4}{0,008 - 0,001}} \cdot 0,071 \cdot 0,678 = 0,048 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Умова стійкості:

$$\frac{M_i}{[M]} + \frac{F_e}{[F]} + \left(\frac{Q_s}{[Q]} \right)^2 = \frac{0,027}{1,828} + \frac{0,048}{5,021} + \left(\frac{0,068}{1,149} \right)^2 = 0,028 < 1.$$

Умова стійкості виконується

Умова міцності опорного вузла:

$$F_i \leq \min \{ [F]^{(2)}; [F]^{(3)} \}.$$

$$0,09 \text{ МН} > \min \{ 0,831; 0,001 \} \text{ МН}.$$

Умова міцності опорного вузла не виконується, треба застосовувати підкладний лист.

Перевірка несучої спроможності циліндричної обичайки, яка в області опорного вузла підкріплена підкладним листом.

Довжина опорного листа опори з кутом охоплення δ_1 :

$$L_{\text{оп}} = \pi \cdot (D + 2 \cdot S) \frac{\delta_1}{360} = \pi \cdot (1,4 + 2 \cdot 0,008) \frac{140}{360} = 1,73 \text{ м}.$$

Довжина підкладного листа з кутом охоплення δ_2 :

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

$$L_{\text{пп}} = L_{\text{оп}} \cdot \frac{\delta_2}{\delta_1} = 1,73 \cdot \frac{165}{140} = 2,093 \text{ м.}$$

Відстань між кромками опорного та підкладного листів:

$$f = \frac{L_{\text{пп}} - L_{\text{оп}}}{2} = \frac{2,039 - 1,73}{2} = 0,154$$

Умови застосування розрахункових формул:

$$60^\circ \leq \delta_2 = 165^\circ \leq 180^\circ,$$

$$\frac{(S - C)}{D} \leq 0,005,$$

$$\frac{(0,008 - 0,001)}{1,4} = 0,005 = 0,005,$$

$$f \geq 0,1 \cdot D,$$

$$0,154 \geq 0,1 \cdot 1,4 = 0,14,$$

$$S_2 \geq S = 0,008.$$

Спрощена перевірка несучої спроможності опорного вузла, підкріпленого підкладним листом

Умова можливості застосування спрощеної перевірки:

$$b_2 \geq S,$$

$$(b_2 = 0,4) < 0,058 \cdot 1,4 + 1,5 \cdot 0,25 = 0,457.$$

Умова не виконується, здійснюється уточнена перевірка несучої спроможності опорного вузла

Уточнена перевірка несучої спроможності циліндричної обичайки в області опорного вузла

Параметри системи:

Ефективна товщина циліндричної обичайки, підкріпленої підкладним листом:

$$S_{ef} = (S - C) \sqrt{1 + \left(\frac{S_2}{S - C} \right)^2} = (0,008 - 0,001) \sqrt{1 + \left(\frac{0,008}{0,008 - 0,001} \right)^2} = 0,011 \text{ мм.}$$

Параметр, що визначається відстанню від вертикальної осі симетрії

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

сідлової опори до днища:

$$\gamma^n = 2,83 \frac{a_1}{D} \sqrt{\frac{S_{ef} - C}{D}} = 2,83 \cdot \frac{1,5}{1,4} \sqrt{\frac{0,011 - 0,001}{1,4}} = 0,251.$$

Параметр, що визначається шириною сідлової опори:

$$\beta^n = 0,91 \frac{b_2}{\sqrt{D(S_{ef} - C)}} = 0,91 \frac{0,4}{\sqrt{1,4 \cdot (0,011 - 0,001)}} = 3,135.$$

Загальне осьове мембранне напруження, що діє в області приєднання опорного вузла:

$$\bar{\sigma}_{\max}^n = \frac{4M_i}{\pi D^2 (S_{ef} - C)} = \frac{4 \cdot 0,027}{3,14 \cdot 1,4^2 \cdot (0,011 - 0,001)} = 1,851 \text{ МПа.}$$

Допустимий вигинаючий момент за умовою міцності циліндричної обичайки:

$$\begin{aligned} [M]_M^n &= \frac{\pi}{4} D (D + S_{ef} - C) \cdot (S_{ef} - C) [\sigma] = \\ &= \frac{3,14}{4} \cdot 1,4 \cdot (1,4 + 0,011 - 0,001) \cdot (0,011 - 0,001) \cdot 196 = 2,926 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Допустимий вигинаючий момент за умовою стійкості в границях пружності:

$$\begin{aligned} [M]_E^n &= \frac{89 \cdot 10^{-6} E}{n_c} D^3 \left[\frac{100(S_{ef} - C)}{D} \right]^{2,5} = \\ &= \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4} \cdot 1,4^3 \cdot \left[\frac{100(0,011 - 0,001)}{1,4} \right]^{2,5} = 7,986 \text{ МН} \cdot \text{м.} \end{aligned}$$

Допустимий вигинаючий момент:

$$[M]^n = \frac{[M]_M^n}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_M^n}{[M]_E^n} \right)^2}} = \frac{2,926}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,926}{7,986} \right)^2}} = 2,727 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Допустиме осьове стискуjące зусилля з умов стійкості циліндричної

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

обичайки:

$$[F]_M^n = \pi(D + S_{ef} - C)(S_{ef} - C)[\sigma] =$$

$$= 3,14 \cdot (1,4 + 0,011 - 0,001) \cdot (0,011 - 0,001) \cdot 196 = 8,359 \text{ МН.}$$

Допустиме осьове стискуjące зусилля з умов стійкості в границях пружності:

$$[F]_E^n = \frac{310 \cdot 10^{-6} E}{n_c} D^2 \left[\frac{100(S_{ef} - C)}{D} \right]^{2,5} =$$

$$= \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4} \cdot 1,4^2 \cdot \left[\frac{100(0,011 - 0,001)}{1,4} \right]^{2,5} = 19,87 \text{ МН.}$$

Допустиме осьове стискуjące зусилля:

$$[F]^n = \frac{[F]_M^n}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_M^n}{[F]_E^n} \right)^2}} = \frac{8,359}{\sqrt{1 + \left(\frac{8,359}{19,87} \right)^2}} = 7,705 \text{ МН.}$$

Допустиме поперечне зусилля за умовами міцності:

$$[Q]_M^n = 0,25 \cdot \pi \cdot D \cdot (S_{ef} - C) \cdot [\sigma] = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 1,4 \cdot (0,011 - 0,001) \cdot 196 = 2,075 \text{ МН.}$$

Допустиме поперечне зусилля за умовами стійкості в границях пружності:

$$[Q]_E^n = \frac{2,4 E (S_{ef} - C)^2}{n_c} \left[0,18 + 3,3 \frac{D(S_{ef} - C)}{L^2} \right] =$$

$$= \frac{2,4 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (0,008 - 0,001)^2}{2,4} \cdot \left[0,18 + 3,3 \frac{1,4 \cdot (0,011 - 0,001)}{6^2} \right] = 3,362 \text{ МН.}$$

Допустиме поперечне зусилля:

$$[Q]^n = \frac{[Q]_M^n}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_M^n}{[Q]_E^n} \right)^2}} = \frac{2,075}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,075}{3,362} \right)^2}} = 1,766 \text{ МН.}$$

Геометричні характеристики циліндричної обичайки з підкладним

листом:

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

$$y^n = \frac{D}{S_{ef} - C} = \frac{1,4}{0,011 - 0,001} = 145,377,$$

$$u = \frac{L}{D} = \frac{6}{1,4} = 4,286.$$

Коефіцієнт, що враховує часткове заповнення апарату рідиною:

$$K_9^n = \max \{ f(z); 1 \} = \max \{ 1,332; 1 \} = 1,332.$$

де $f(z) = 1,332$ визначається за наступною формулою:

$$\begin{aligned} z = & 1,6 - 0,20924 \cdot (u^n - 1) + 0,028702 \cdot u^n \cdot (u^n - 1) + 0,04795 \cdot 10^{-3} \cdot y \cdot (u^n - 1) - 0,2391 \cdot \\ & \cdot 10^{-6} \cdot u^n \cdot y \cdot (u^n - 1) - 0,89936 \cdot 10^{-6} \cdot (u^n - 1) \cdot y^2 + 0,88174 \cdot 10^{-6} \cdot u^{n2} \cdot (u^n - 1) - 0,75995 \cdot \\ & \cdot 10^{-8} \cdot y^2 \cdot (u^n - 1) \cdot u^{n3} + 0,48168 \cdot 10^{-9} \cdot (u^n - 1) \cdot y = 1,6 - 0,20924 \cdot (145,377 - 1) + \\ & + 0,028702 \cdot 145,377 \cdot (145,377 - 1) + 0,04795 \cdot 10^{-3} \cdot 4,286 \cdot (145,377 - 1) - 0,2391 \cdot 10^{-6} \cdot \\ & \cdot 145,377 \cdot 4,286 \cdot (145,377 - 1) - 0,89936 \cdot 10^{-6} \cdot (145,377 - 1) \cdot 4,286^2 + 0,88174 \cdot 10^{-6} \cdot \\ & \cdot 145,377^2 \cdot (145,377 - 1) - 0,75995 \cdot 10^{-8} \cdot 4,286^2 \cdot (145,377 - 1) \cdot 145,377^3 + 0,48168 \cdot \\ & \cdot 10^{-9} \cdot (145,377 - 1) \cdot 4,286 = 1,332. \end{aligned}$$

Коефіцієнти, що враховує вплив ширини поясу опори:

$$K_{10}^n = \max \left\{ \frac{e^{-\beta} \sin \beta^n}{\beta^n}; 0,25 \right\} = \max \{ 0,0003; 0,25 \} = 0,25,$$

$$K_{11}^n = \frac{1 - e^{-\beta^n} \sin \beta^n}{\beta^n} = \frac{1 - e^{-3,135} \cdot \sin 1,135}{1,135} = 0,378.$$

Коефіцієнти, що враховують вплив кута охоплення:

$$K_{12}^n = \frac{1,15 - 0,143 \cdot \delta_2 \cdot \frac{\pi}{180}}{\sin \left(0,5 \delta_2 \cdot \frac{\pi}{180} \right)} = \frac{1,15 - 0,143 \cdot 165 \cdot \frac{3,14}{180}}{\sin \left(0,5 \cdot 165 \cdot \frac{3,14}{180} \right)} = 0,744,$$

$$K_{13}^n = \frac{\max \left\{ 1, 7 - \frac{2,1\delta_2 \cdot \frac{\pi}{180}}{\pi}; 0 \right\}}{\sin(0,5\delta_2)} = \frac{\max \left\{ 1, 7 - \frac{2,1 \cdot 165 \cdot \frac{3,14}{180}}{3,14}; 0 \right\}}{\sin(0,5 \cdot 165 \cdot \frac{3,14}{180})} = 0,$$

$$K_{14}^n = \frac{1,45 - 0,43 \cdot \delta_2 \cdot \frac{\pi}{180}}{\sin(0,5 \cdot \delta_2 \cdot \frac{\pi}{180})} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot 165 \cdot \frac{3,14}{180}}{\sin(0,5 \cdot 165 \cdot \frac{3,14}{180})} = 0,214.$$

Коефіцієнти, що враховують відстань від осі опори до днища:

$$K_{15}^n = \min \left\{ 1, 0; \frac{0,8\sqrt{\gamma^n} + 6\gamma^n}{\delta_2} \right\} = \min \left\{ 1, 0; \frac{0,8\sqrt{0,251} + 6 \cdot 0,251}{165 \cdot \frac{3,14}{180}} \right\} =$$

$$= \min \{1, 0; 0,663\} = 0,663,$$

$$K_{16}^n = 1 - \frac{0,65}{1 + (6\gamma^n)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3\delta_3}} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6 \cdot 0,251)^2} \cdot \sqrt{\frac{3,14}{3 \cdot 165 \cdot \frac{\pi}{180}}} = 0,88.$$

Коефіцієнт, що враховують геометричні розміри циліндричної обичайки:

$$K_{17}^n = \frac{1}{1 + 0,6\sqrt{\frac{D}{S_{ef} - C}} \cdot \frac{b_2}{D} \delta_2} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt{\frac{1,4}{0,011 - 0,001}} \cdot \frac{0,25}{1,4} \cdot 165 \cdot \frac{\pi}{180}} = 0,278.$$

Перевірка несучої спроможності обичайки в перерізі між опорами.

Умова міцності:

$$\frac{pD}{4(S_{ef} - C)} + \frac{4M_{12}K_9^n}{\pi D^2(S_{ef} - C)} \leq \varphi[\sigma],$$

$$\frac{pD}{4 \cdot (S_{ef} - C)} + \frac{4M_{12}K_9^n}{\pi D^2 \cdot (S_{ef} - C)} = \frac{0,8 \cdot 1,4}{4 \cdot (0,011 - 0,001)} + \frac{4 \cdot (-0,016) \cdot 1,332}{3,14 \cdot 1,4^2 \cdot (0,011 - 0,001)} =$$

$$= 27,661 \text{ МПа} \leq 196 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Умова стійкості:

$$\frac{|M_{12}|}{[M]} = \frac{0,016}{2,747} = 0,0005 < 1.$$

Умова стійкості виконується.

Коефіцієнти, що враховують ступінь навантаження загальними мембранними напруженнями:

У точці 2:

$$\nu_{21}^{n(2)} = -\bar{\sigma}_{\max}^n \frac{K_2}{n_T [\sigma]} = -1,851 \cdot \frac{1,2}{1,5 \cdot 196} = -0,007,$$

$$\nu_{22}^{n(2)} = \left(\frac{pD}{4(S_{ef} - C)} - \bar{\sigma}_{\max}^n \right) \cdot \frac{K_2}{n_T [\sigma]} = \left(\frac{0,8 \cdot 1,4}{4(0,011 - 0,001)} - 1,851 \right) \cdot \frac{1,2}{1,5 \cdot 196} = 0,111.$$

У точці 4:

$$\nu_{21}^{(4)} = 0,$$

$$\nu_{22}^{n(4)} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (S_{ef} - C)} \cdot \frac{K_2}{n_T [\sigma]} = \frac{0,8 \cdot 1,4}{2 \cdot (0,011 - 0,001)} \cdot \frac{1,2}{1,5 \cdot 196} = 0,119.$$

Коефіцієнт, що враховує відношення місцевих мембранних напружень до місцевих напружень вигину:

У точці 2:

Оскільки $\nu_{21}^{n(2)} = 0,0007 > 0$ то:

$$\nu_{11}^{n(2)} = \frac{0,23 \cdot K_{13}^n \cdot K_{15}^n}{K_{12}^n \cdot K_{10}^n} = \frac{0,23 \cdot 0 \cdot 0,663}{0,744 \cdot 0,25} = 0.$$

Оскільки $\nu_{22}^{n(2)} = 0,111 > 0$ то:

$$\nu_{12}^{n(2)} = -\frac{0,23 \cdot K_{13}^n \cdot K_{15}^n}{K_{12}^n \cdot K_{10}^n} = \frac{0,23 \cdot 0 \cdot 0,663}{0,744 \cdot 0,25} = 0.$$

У точці 4:

Оскільки $\nu_{21}^{n(4)} = 0$, то:

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\nu_{11}^{n(4)} = -\frac{0,53 \cdot K_{11}^n}{K_{14}^n \cdot K_{16}^n \cdot K_{17}^n \cdot \sin(0,5\delta_2)} = -\frac{0,53 \cdot 0,378}{0,214 \cdot 0,88 \cdot 0,278 \cdot \sin(0,5 \cdot 165 \frac{\pi}{180})} = -3,858.$$

Оскільки $\nu_{22}^{n(4)} = 0,119 > 0$, то:

$$\nu_{12}^{(3)} = -\frac{0,53 \cdot K_{11}^n}{K_{14}^n \cdot K_{16}^n \cdot K_{17}^n \cdot \sin(0,5\delta_2)} = -\frac{0,53 \cdot 0,378}{0,214 \cdot 0,88 \cdot 0,278 \cdot \sin(0,5 \cdot 165 \frac{\pi}{180})} = -3,858.$$

Коефіцієнт K_1^n

У точці 2:

Оскільки $\nu_{11}^{n(2)} = 0$, то:

$$K_{11}^{n(2)} = 1,5 \cdot \left[1 - \left(\nu_{21}^{n(2)} \right)^2 \right] = 1,5 \cdot \left[1 - 0,007^2 \right] = 1,5.$$

Оскільки $\nu_{12}^{n(2)} = 0$, то:

$$K_{12}^{n(2)} = 1,5 \cdot \left[1 - \left(\nu_{22}^{n(2)} \right)^2 \right] = 1,5 \cdot \left[1 - 0,111^2 \right] = 1,481,$$

$$K_1^{n(2)} = \min \left\{ K_{11}^{n(2)}, K_{12}^{n(2)} \right\} = \min \{ 1,5; 1,481 \} = 1,481.$$

У точці 4:

Оскільки $\nu_{11}^{n(4)} = -3,858 \neq 0$, то:

$$K_{11}^{n(4)} = \frac{1 + 3\nu_{11}^{n(4)}\nu_{21}^{n(4)}}{3\left(\nu_{11}^{n(4)}\right)^2} \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot \left(\nu_{11}^{n(4)}\right)^2 \left[1 - \left(\nu_{21}^{n(4)}\right)^2 \right]}{\left[1 + 3\nu_{11}^{n(4)}\nu_{21}^{n(4)} \right]^2} + 1} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot (-3,858) \cdot 0}{3 \cdot (-3,858)^2} \cdot \left(\sqrt{\frac{9 \cdot (-3,858)^2 \cdot [1 - (0)^2]}{\left[1 + 3 \cdot (-3,858) \cdot 0 \right]^2} + 1} - 1 \right) = 0,238,$$

$$K_{11}^{n(4)} = \frac{1 + 3\nu_{12}^{n(4)}\nu_{22}^{n(4)}}{3\left(\nu_{12}^{n(4)}\right)^2} \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot \left(\nu_{12}^{n(4)}\right)^2 \left[1 - \left(\nu_{22}^{n(4)}\right)^2 \right]}{\left[1 + 3\nu_{12}^{n(4)}\nu_{22}^{n(4)} \right]^2} + 1} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot (-3,858) \cdot 0,119}{3 \cdot (-3,858)^2} \cdot \left(-\sqrt{\frac{9 \cdot (-3,858)^2 \cdot [1 - 0,199^2]}{[1 + 3 \cdot (-3,858) \cdot 0,119]^2} + 1} - 1 \right) = 0,266,$$

$$K_1^{n(4)} = \min \{ K_{11}^{n(4)}, K_{12}^{n(4)} \} = \min \{ 0,238; 0,266 \} = 0,238.$$

Граничне напруження вигину:

У точці 2:

$$[\sigma_1]^{n(2)} = K_1^{n(2)} [\sigma] \frac{n_T}{K_2} = 1,481 \cdot 196 \frac{1,5}{1,2} = 362,962 \text{ МПа.}$$

У точці 4:

$$[\sigma_1]^{n(4)} = K_1^{n(4)} [\sigma] \frac{n_T}{K_2} = 0,266 \cdot 196 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 58,251 \text{ МПа.}$$

Допустимі опорні зусилля від навантажень в осьовому напрямку в точці 2:

$$[F]^{n(2)} = \frac{0,7 \cdot [\sigma_1]^{n(2)} \sqrt{D \cdot (S_{ef} - C) \cdot (S_{ef} - C)}}{K_{10}^n K_{12}^n} =$$

$$= \frac{0,7 \cdot 362,962 \cdot \sqrt{1,4 \cdot (0,011 - 0,001) \cdot (0,011 - 0,001)}}{0,25 \cdot 0,744} = 1,527 \text{ МН.}$$

Допустимі опорні зусилля від навантажень в осьовому напрямку в точці 4:

$$[F]^{n(4)} = \frac{0,9 \cdot [\sigma_1]^{n(4)} \sqrt{D \cdot (S_{ef} - C) \cdot (S_{ef} - C)}}{K_{14}^n K_{16}^n K_{17}^n} =$$

$$= \frac{0,9 \cdot 58,251 \cdot \sqrt{1,6 \cdot (0,011 - 0,001) \cdot (0,011 - 0,001)}}{0,214 \cdot 0,88 \cdot 0,278} = 0,814 \text{ МН.}$$

Ефективне осьове зусилля від місцевих мембранних напружень, що діють в області опори:

$$F_e^n = F_i \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{D}{S_{ef} - C}} K_{13}^n K_{15}^n =$$

$$= 0,09 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot \sqrt{\frac{1,4}{0,011 - 0,001}} \cdot 0 \cdot 0,663 = 0 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

Умова міцності опорного вузла:

$$F_i^n \leq \min \{ [F]^{n(2)}; [F]^{n(4)} \}$$

$$0,09 \text{ МН} > \min \{ 1,527; 0,814 \} \text{ МН.}$$

Умова міцності виконується

Умова стійкості:

$$\frac{M_i}{[M^n]} + \frac{F_e^n}{[F^n]} + \left(\frac{Q_s}{[Q^n]} \right)^2 = \frac{0,027}{2,724} + \frac{0}{7,705} + \left(\frac{0,068}{1,766} \right)^2 = 0,011 < 1.$$

Умова стійкості виконується

5.9 Розрахунок компенсатора

Метою цього розрахунку є перевірка забезпечення апарату від температурних напружень.

Для захисту трубопроводів від руйнувань застосовують герметичні конструкції для проведення теплоносіїв компенсатори температурних деформацій. Взаємне положення труб і кожуха, що з'єднанні між собою за допомогою трубної решітки, в робочих умовах зображено на рисунку 5.11

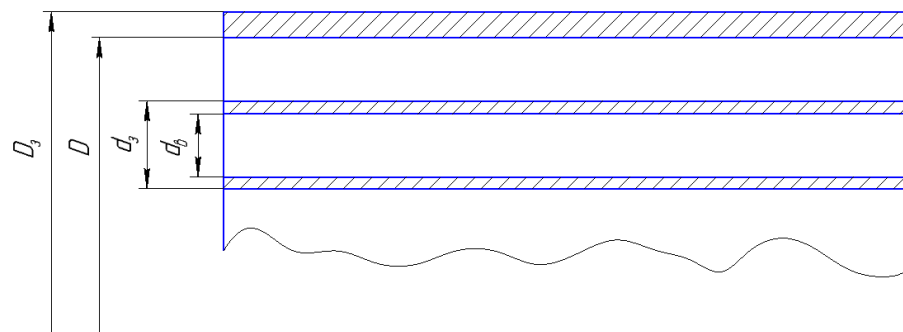


Рисунок 5.11 – Взаємне положення труб і кожуха в робочих умовах

Розрахунок проводимо згідно методики наведеної в [21] , складена згідно норм за ГОСТ 30780-2002 і передбачає визначення потреби встановлювання температурного компенсатора в теплообміннику.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		81

Вхідні дані для розрахунку:

Зовнішній діаметр кожуха $D_3, \text{м}$	1,416;
внутрішній діаметр кожуха $D, \text{м}$	1,400;
зовнішній діаметр труб $d_3, \text{м}$	0,025;
внутрішній діаметр труб $d_b, \text{м}$	0,021;
кількість труб n	1432;
тиск у трубному просторі $p_{\text{тр}}, \text{МПа}$	0,8;
тиск у кожусі $p_k, \text{МПа}$	0,8;
розрахункова температура в трубах $t_{\text{тр}}, ^\circ\text{C}$	180;
розрахункова температура в кожусі $t_k, ^\circ\text{C}$	230;
матеріал труб	12X18H10T;
матеріал кожуха	09ГC2.

Визначення напружень, які виникають у кожусі і трубах теплообмінника від тиску:

Сила, що діє на кришку або днище теплообмінника від тиску у трубному просторі:

$$Q_1^p = p_{\text{тр}} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,8 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,4^2}{4} = 1,232 \text{ МН.}$$

Сила, що діє на трубну решітку з боки кришки або днища:

$$Q_2^p = p_{\text{тр}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - n \cdot d_b^2) = 0,8 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (1,4^2 - 1432 \cdot 0,021^2) = 0,835 \text{ МН.}$$

Розпірна сила від тиску ,що діє на трубну решітку з боку міжтрубного простору:

$$Q_3^p = p_k \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - n \cdot d_3^2) = 0,8 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (1,4^2 - 1432 \cdot 0,025^2) = 0,669 \text{ МН.}$$

Осьове зусилля, яке розтягує труби і кожух:

$$Q^p = Q_1^p - Q_2^p + Q_3^p = 1,232 - 0,835 + 0,669 = 1,066 \text{ МН.}$$

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Площа поперечного перерізу труб:

$$F_{\text{тр}} = n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d_3^2 - d_b^2) = 1432 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (0,025^2 - 0,021^2) = 0,207 \text{ м}^2.$$

Площа поперечного перерізу кожуха:

$$F_{\text{к}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_3^2 - D^2) = \frac{3,14}{4} \cdot (1,416^2 - 1,4^2) = 0,035 \text{ м}^2.$$

Осьове зусилля, яке сприймають труби теплообмінника від тиску в апараті:

$$Q_{\text{тр}}^p = \frac{Q^p \cdot E_{\text{тр}} \cdot F_{\text{тр}}}{E_{\text{к}} \cdot F_{\text{к}} + E_{\text{тр}} \cdot F_{\text{тр}}} = \frac{1,066 \cdot 1,984 \cdot 10^5 \cdot 0,207}{1,94 \cdot 10^5 \cdot 0,035 + 1,984 \cdot 10^5 \cdot 0,207} = 0,913 \text{ МН},$$

де $E_{\text{тр}}$ – модуль пружності в умовах розтягу матеріалу труб, $E_{\text{тр}} = 1,984 \cdot 10^5$ МПа;

$E_{\text{к}}$ – модуль пружності в умовах розтягу матеріалу кожуха, $E_{\text{к}} = 1,94 \cdot 10^5$ МПа.

Осьове зусилля, яке сприймають кожух теплообмінника від тиску в апараті:

$$Q_{\text{к}}^p = \frac{Q^p \cdot E_{\text{к}} \cdot F_{\text{к}}}{E_{\text{к}} \cdot F_{\text{к}} + E_{\text{тр}} \cdot F_{\text{тр}}} = \frac{1,066 \cdot 1,94 \cdot 10^5 \cdot 0,035}{1,94 \cdot 10^5 \cdot 0,035 + 1,984 \cdot 10^5 \cdot 0,207} = 0,153 \text{ МН}.$$

Напруження у трубах, зумовлене силою $Q_{\text{тр}}^p$:

$$\sigma_{\text{тр}}^p = \frac{Q_{\text{тр}}^p}{F_{\text{тр}}} = \frac{0,913}{0,207} = 4,413 \text{ МПа}.$$

Напруження у кожусі, зумовлене силою $Q_{\text{к}}^p$:

$$\sigma_{\text{к}}^p = \frac{Q_{\text{к}}^p}{F_{\text{к}}} = \frac{0,153}{0,035} = 4,315 \text{ МПа}.$$

Визначення температурних напружень, які виникають у кожусі і трубах теплообмінника.

Температурне зусилля:

$$Q^t = \left| \frac{[\alpha_{\text{к}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{м}}) - \alpha_{\text{тр}} \cdot (t_{\text{тр}} - t_{\text{м}})] \cdot E_{\text{тр}} \cdot F_{\text{тр}} \cdot E_{\text{к}} \cdot F_{\text{к}}}{E_{\text{тр}} \cdot F_{\text{тр}} + E_{\text{к}} \cdot F_{\text{к}}} \right| =$$

$$= \left| \frac{[1,53 \cdot 10^{-5} \cdot (250 - 20) - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot (165 - 20)] \cdot 1,984 \cdot 10^5 \cdot 0,207 \cdot 1,94 \cdot 10^5 \cdot 0,035}{1,984 \cdot 10^5 \cdot 0,207 + 1,94 \cdot 10^5 \cdot 0,035} \right| = 6,199 \text{ МН}.$$

Температурне зусилля у трубах:

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

$$\left[\alpha_{\kappa} \cdot (t_{\kappa} - t_{\text{м}}) - \alpha_{\text{тр}} \cdot (t_{\text{тр}} - t_{\text{м}}) \right] > 0$$

$$\left[1,53 \cdot 10^{-5} \cdot (250 - 20) - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot (165 - 20) \right] = 1,054 \cdot 10^{-3} > 0$$

Тому:

$$Q'_{\text{тр}} = Q' = 6,199 \text{ МН.}$$

Температурне зусилля у кожусі

$$\left[\alpha_{\kappa} \cdot (t_{\kappa} - t_{\text{м}}) - \alpha_{\text{тр}} \cdot (t_{\text{тр}} - t_{\text{м}}) \right] > 0$$

$$\left[1,53 \cdot 10^{-5} \cdot (250 - 20) - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot (165 - 20) \right] = 1,054 \cdot 10^{-3} > 0$$

Тому

$$Q'_{\kappa} = -Q' = 6,199 \text{ МН.}$$

Напруження у трубах, які зумовлені обмеженістю температурних деформацій:

$$\sigma'_{\text{тр}} = \frac{Q'_{\text{тр}}}{F_{\text{тр}}} = \frac{6,199}{0,207} = 29,956 \text{ МПа.}$$

Напруження у кожусі, які зумовлені обмеженістю температурних деформацій:

$$\sigma'_{\kappa} = \frac{Q'_{\kappa}}{F_{\kappa}} = -\frac{6,199}{0,035} = -175,184 \text{ МН.}$$

Сумарні напруження у трубах теплообмінника:

$$\sigma_{\text{тр}} = \sigma_{\text{тр}}^p + \sigma'_{\text{тр}} = 4,413 + 29,956 = 34,369 \text{ МН.}$$

Сумарні напруження у кожусі теплообмінника:

$$\sigma_{\kappa} = \sigma_{\kappa}^p + \sigma'_{\kappa} = 4,315 - 175,184 = -170,869 \text{ МН.}$$

Умова міцності:

$$\sigma_{\text{тр}} \leq [\sigma]_{\text{тр}}$$

$$34,369 \text{ МН} \leq 165,6 \text{ МН,}$$

де $[\sigma]_{\text{тр}}$ – допустимі напруження матеріалу труб, $[\sigma]_{\text{тр}} = 165,6 \text{ МН}$.

Умова міцності для труб виконується:

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

$$\sigma_k \leq [\sigma]_k$$

$$170,869 \text{ МН} > 162 \text{ МН},$$

де $[\sigma]_k$ – допустимі напруження матеріалу кожуха, $[\sigma]_k = 162 \text{ МН}$.

Умова міцності для кожуха не виконується.

Отже, для виконання умови міцності використовуємо в якості температурного компенсатора плаваючу головку.

5.10 Розрахунок теплової ізоляції

Мета розрахунку: розрахувати та визначити товщину ізоляції корпусу і днища апарату.

Розрахунок ведемо за методикою [22].

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.12

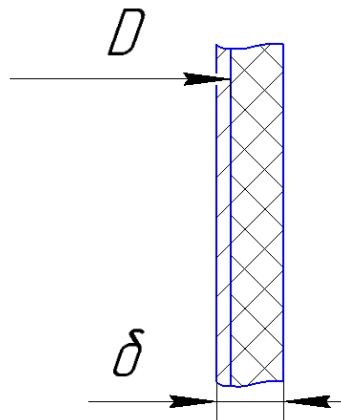


Рисунок 5.12 – Схема ізоляції

Вихідні дані:

Температура навколишнього середовища $t_c, ^\circ\text{C}$,	20;
температура в корпусі $t_k, ^\circ\text{C}$	453;
температура в днищі $t_d, ^\circ\text{C}$	453;
зовнішній діаметр корпусу d , м	1,416;
матеріал ізоляції	скляне штапельне волокно.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Середня температура теплоізоляційного шару корпусу апарата:

$$t_{\text{шк}} = \frac{(t_{\text{к}} + 40)}{2} = \frac{(180 + 40)}{2} = 110 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Теплопровідність теплоізоляційного шару в конструкції:

$$\lambda_{\text{кл}} = 0,042 + 0,0028 \cdot t_{\text{шк}} = 0,042 + 0,0028 \cdot 110 = 0,073 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

Опір теплопередачі на один метр довжини теплоізоляційної конструкції:

$$r_1 = \frac{t_{\text{к}} - t_{\text{с}}}{q_1 \cdot K_1} = \frac{180 - 20}{408 \cdot 1} = 0,392 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де q_1 – нормована лінійна щільність теплового потоку з одного метра довжини циліндричної теплоізоляційної конструкції, $q_1 = 408 \text{ Вт/м}^2$,

K_1 – коефіцієнт, який враховує зміну вартості теплоти й теплоізоляційної конструкції, $K_1 = 1$.

Відношення зовнішнього діаметра ізоляційного шару до зовнішнього діаметра ізоляційного об'єкта:

$$B = \exp \left(2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\text{кл}} \cdot \left[r_1 - r_m - \frac{1}{\alpha_e \cdot \pi \cdot (d + 0,1)} \right] \right) = \\ = \exp \left(2 \cdot 3,14 \cdot 0,073 \cdot \left[0,392 - 0 - \frac{1}{12 \cdot 3,14 \cdot (1,416 + 0,1)} \right] \right) = 1,19,$$

де α_e – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні теплоізоляційної конструкції до оточуючого середовища, $\alpha_e = 12 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$,

r_m – термічний лінійний опір, $r_m = 0$.

Попередньо товщина теплоізоляційного шару:

$$\delta_{\text{кл}} = \frac{d}{2} \cdot (B - 1) = \frac{1,416}{2} \cdot (1,19 - 1) = 0,135 \text{ м}$$

Тоді товщина теплоізоляційного шару

$$\delta_{\text{к}} = \delta_{\text{кл}} \cdot K_{\text{с}} \cdot \frac{d + \delta_{\text{кл}}}{d + 2 \cdot \delta_{\text{кл}}} = 0,135 \cdot 1,6 \cdot \frac{d + 0,135}{d + 2 \cdot 0,135} = 0,199 \text{ м},$$

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

де K_c – коефіцієнта ущільнення ізоляції, $K_c = 1,6$.

Приймаємо товщину ізоляції $\delta_k = 0,2$ м.

Середня температура теплоізоляційного шару днища апарата:

$$t_{\text{шд}} = \frac{(t_d + 40)}{2} = \frac{(230 + 40)}{2} = 135 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Теплопровідність теплоізоляційного шару в конструкції

$$\lambda_d = 0,042 + 0,0028 \cdot t_{\text{шд}} = 0,042 + 0,0028 \cdot 135 = 0,08 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

Опір теплопередачі на один метр довжини теплоізоляційної конструкції:

$$r_2 = \frac{t_d - t_c}{q_2 \cdot K_1} = \frac{230 - 20}{475 \cdot 1} = 0,442,$$

де q_2 – нормована лінійна щільність теплового потоку з одного метра довжини циліндричної теплоізоляційної конструкції, $q_2 = 475 \text{ Вт/м}^2$.

Термічний опір теплоізоляційної конструкції:

$$R = r_2 - \frac{1}{\alpha_e} - r_m = 0,442 - \frac{1}{12} - 0 = 0,359$$

Попередньо товщина теплоізоляційного шару:

$$\delta_{d1} = \lambda_d \cdot R = 0,08 \cdot 0,359 = 0,029 \text{ м.}$$

Тоді товщина теплоізоляційного шару

$$\delta_d = \delta_{d1} \cdot K_c \cdot \frac{d + \delta_{d1}}{d + 2 \cdot \delta_{d1}} = 0,029 \cdot K_c \cdot \frac{1,416 + 0,029}{1,416 + 2 \cdot 0,029} = 0,045 \text{ м.}$$

Приймаємо товщину ізоляції $\delta_d = 0,06$ м.

Висновок: товщини ізоляції складає для корпусу $\delta_k = 0,2$ м і днища

$\delta_d = 0,06$ м.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апарату

Рекомендації розроблені на основі [23].

Горизонтальний кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою призначений для роботи в таких умовах, коли виникає необхідність компенсації теплових подовжень трубчастої частини апарату. Цей апарат надходить на монтажний майданчик повністю зібраними з привареними опорними конструкціями, штуцерами та деталями для кріплення ізоляції.

Спосіб транспортування теплообмінника до місця монтажу, підйому й установки його на фундамент або підставу зазвичай вказується в проекті виконання робіт.

Монтаж теплообмінника повинен, як правило, відбуватись в максимально зібраному вигляді з установленими вузлами трубопроводом і металоконструкціями каркасів. До установки в проектне положення апарат піддають гідравлічному випробуванню на міцність. При цьому окремо відчують міжтрубний і трубний простори.

Для виявлення дефектів в розвальцьовуванні та зварюванні труб, трубний пучок спресовують шляхом подачі води в міжтрубний простір, при умові попередньо знятої розподільної камери та кришці. При цьому також оглядають корпус теплообмінника. Дефекти розвальцьовування або зварювання усувають. Для перевірки якості ущільнення кришки плаваючої головки, трубний пучок спресовують, створюючи тиск в розподільній камері та трубному пучку.

Після закінчення випробування знімають заглушки, зливають воду і апарат для просушування продувають стисненим повітрям. Для випробування корпусу (міжтрубний простір) штуцера міжтрубному простору закривають заглушками, а зняте днище встановлюють на місце на прокладці. Після цього корпус наповнюють водою й відчують при робочому тиску.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

Після гідравлічного випробування приступають до монтажу апарату, де проводять контрольну перевірку (ревізію) кожухотрубних теплообмінників, при цьому перевіряючи наявність прокладок, комплектність знімних деталей, правильність їх взаємного розташування. При наявності дефектів обладнання в монтаж не приймається до повного їх усунення.

Під час перевірки норма відхилення від проектних осей і відміток, а також від горизонталі та вертикалі складають до 10 мм або 0,5 мм на 1 м ; відхилення фактичної висотної позначки встановленого апарату - 10 мм.

При задовільних результатах огляду та перевірок складають акт.

Залежно від вагових характеристик і проектного положення для теплообмінників використовують різні монтажні крани. У будівлях теплообмінники монтують із застосуванням талів, тельферів, домкратів, лебідок і такелажного оснащення.

Горизонтальне обладнання монтують за допомогою одного або двох (спарених) кранів. Спосіб підйому і вантажність кранів вибирають в залежності від розміру та маси обладнання, висоти і конфігурації фундаменту або постаменту під обладнання, наявності розташованих поруч будівельних конструкцій тощо.

Горизонтальні апарати особливо великої маси і при підйомі на значну висоту часто монтують за допомогою двох кранів. Для рівномірного розподілу навантажень на крани апарати стропу, максимально видаляючи місця стропування від кранів (близько днищ апаратів), за допомогою кільцевих стропів, помилкових штуцерів або з використанням проектних люків або штуцерів.

Під опори теплообмінників, що монтовані на висотних металоконструкціях і в будівлях, спеціальні фундаменти не використовують, а кріплять їх до металевих конструкцій або балок перекриття будівель.

При необхідності регулювання положення апарату виконують шляхом укладання під його опори в окремих місцях плоских прокладок.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

Приймання опор на залізобетонних або сталевих перекриттях проводиться після перевірки відповідності фактичних розмірів проектним.

Правильність монтажу апаратів і опорних металоконструкцій на фундаменті вивіряють гідростатичним або брусковим рівнем і контрольної лінійкою.

Після монтажу та його перевірки, апарат вводять в експлуатацію.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 Рівень стандартизації та уніфікації

Стандартизація – установлення і використання стандартів з метою упорядкування діяльності у визначеній області, економного використання ресурсів, дотримання вимог техніки безпеки, підвищення якості продукції і послуг.

Об'єкти стандартизації – конкретна продукція, норми, вимоги, методи, терміни, позначення та інше, що мають перспективу багаторазового використання, що використовується в техніці, науці, промисловості [24].

Основні задачі стандартизації: встановлення вимог до технічного рівня і якості продукції, сировини, матеріалів і комплектуючих виробів, а також норм, вимог в області проектування і виробництва продукції, що дозволяють забезпечити оптимальну якість і ліквідувати нераціональне різноманіття видів, марок, розмірів.

Уніфікація – приведення продукції і засобів виробництва або їх елементів до однієї форми, розміри, структури, складу. Уніфікація – важливий напрямок у розвитку сучасної техніки, комплексний процес, що охоплює питання проектування, технології, контролю і експлуатації машин, механізмів, апаратів, пристроїв. Вона є найбільш розповсюдженим і ефективним методом підготовки і здійснення стандартизації.

Мета розрахунку: визначення рівня стандартизації та уніфікації теплообмінника.

Загальна кількість деталей $N=35$, з них стандартних $n_c=27$, уніфікованих — $n_3=6$, та унікальних $n=2$.

Коефіцієнт стандартизації:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{27}{35} = 0,77.$$

Коефіцієнт уніфікації:

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_y = \frac{n_c + n_3}{N} = \frac{27 + 6}{35} = 0,94.$$

Висновки: у результаті розрахунку встановлено, що коефіцієнти стандартизації та уніфікації становлять $K_c = 0,77$ та $K_y = 0,94$ відповідно.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8 Економічна частина проекту

8.1 Техніко – економічні обґрунтування доцільності зміни конструкції

Базисний теплообмінник має досить добрі експлуатаційні характеристики, але з метою підвищення інтенсифікації процесу було удосконалено апарат, а саме встановлено перегородки, що складаються з циліндричного і двох дискових фрагментів.

Основні техніко-економічні показники базового та модернізованого теплообмінників представлено в таблиці 8.1.

Методику розрахунку наведено в [25].

Таблиця 8.1 – Порівняльна характеристика базового та модернізованого теплообмінників

Показники	Одиниця виміру	Техніка	
		Базова	Проектована
Продуктивність	кг/с	6	8
Поверхня теплообміну	м ²	675	675
Термін служби	років	8	10
Маса апарату	кг	18390	18390
Вибухонебезпечність		Так	так
Норма Обслуговування	чол.	3	3

Модернізацію базового апарату (теплообмінник з плаваючою головкою) розраховуємо у відповідності зі ступенем складності та обсягів проектно-конструкторської документації, яку необхідно розробити на етапи

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

конструкторської підготовки.

Модернізація діючого устаткування означає його вдосконалення з метою попередження або усунення фізичного зносу, техніко-економічного старіння та підвищення його технічних параметрів до рівня сучасних вимог.

Економічно доцільно здійснювати модернізацію устаткування під час проведення його капітального ремонту. Зазвичай модернізація устаткування хімічної та нафтопереробної галузей промисловості забезпечує збільшення його продуктивності на 10-18%, а здійснені згідно з нею витрати не перевищують половини вартості нових знарядь виробництва аналогічного призначення.

Розрахунки ефективності на проведення модернізації устаткування полягають у визначенні коефіцієнта ефективності витрат n_{p_i} , який розраховується за формулою:

$$n_{p_i} = 1 - \frac{M_i + S_{e_i}}{K_{H_i} \alpha \beta + S_{a_i}}, \quad (8.1)$$

де M_i - сукупні витрати на проведення модернізації устаткування, грн.;

S_{e_i} - перевищення експлуатаційних (поточних) витрат модернізованого устаткування порівняно з новим аналогічним устаткуванням, грн.;

K_{H_i} - оптова ціна придбання нового аналогічного устаткування, грн.;

α - коефіцієнт співвідношення продуктивності модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування;

β - коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування;

S_{a_i} - втрати від недоамортизації устаткування, яке підлягає модернізації.

Розрахований по формулі (8.1) коефіцієнт n_{p_i} може мати позитивні, негативні або нульове значення (таблиця 8.2).

Сукупні витрати M_i на проведення модернізації устаткування складаються з таких окремих елементів, а саме:

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- матеріальні витрати (вартість сировини, матеріалів, комплектуючих виробів та енергоносіїв, які необхідні для виконання модернізації);
- витрати на оплату праці (заробітна плата розробників конструкторської та технологічної документації; заробітна плата основних робітників, які виконують роботи по модернізації устаткування; відрахування на соціальне страхування);
- амортизація, яка нарахована на діюче устаткування, яке підлягає модернізації;
- інші види витрат.

Таблиця 8.2 – Значення коефіцієнту ефективності витрат n_{p_i} на модернізацію устаткування

Величина коефіцієнта n_{p_i}	Висновок щодо доцільності модернізації устаткування
$n_{p_i} > 0$	Модернізація устаткування з економічної точки зору доцільна
$n_{p_i} < 0$	Модернізація устаткування з економічної точки зору недоцільна. Доцільним є придбання нового устаткування.
$n_{p_i} = 0$	Рішення про модернізацію устаткування приймається, виходячи з конкретних виробничих обставин.

З достатньою для розрахунків точністю, яка базується на практичних даних підприємств хімічного машинобудування, величина сукупних витрат M_i на модернізацію устаткування може бути розрахована по формулі:

$$M_i = \Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{мод}} \cdot K_i = 3500000 \cdot 0,06 = 210000,$$

де $\Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{мод}}$ – первісна (відновлена) вартість устаткування, яке підлягає модернізації,

$$\Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} = 3500000 \text{ грн};$$

K_i – коефіцієнт витрат, величина якого залежить від виду і типу устаткування, яке підлягає модернізації, $K_i = 0,06$ для теплообмінника.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

Модернізоване устаткування у процесі подальшої експлуатації, як правило, вимагає більш високих експлуатаційних (поточних) витрат у порівнянні з аналогічним новим устаткуванням.

Експлуатаційні (поточні) витрати при роботі устаткування складаються з таких витрат:

- витрати паливно-мастильних матеріалів;
- витрати на придбання та виготовлення необхідних запасних частин;
- витрати на оплату праці ремонтного персоналу;
- інші поточні експлуатаційні витрати.

З достатнім для розрахунків ступенем точності, який базується на практичних даних підприємств хімічного машинобудування, величина перевищення експлуатаційних (поточних) витрат по модернізованому устаткуванню порівняно з новим аналогічним устаткуванням S_{ei} може бути розрахована по формулі:

$$S_{ei} = q_{b_i} \cdot \Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} - q_{b_n} \cdot \Phi_{\text{перв}}^{\text{нов}} = 0,12 \cdot 3500000 - 0,1 \cdot 3700000 = 50000 \text{ грн},$$

де q_{b_i} – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат устаткування, яке підлягає модернізації, $q_{b_i} = 0,12$;

q_{b_n} – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат аналогічного нового устаткування, $q_{b_n} = 0,1$;

$\Phi_{\text{перв}}^{\text{нов}}$ – первісна вартість нового (аналогічного) устаткування, $\Phi_{\text{перв}}^{\text{нов}} = 3700000$.

Коефіцієнт співвідношення продуктивності модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування α розраховується по формулі:

$$\alpha = \frac{P_i}{P_{\text{нов}}} = \frac{6}{8} = 0,75,$$

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

де Π_i – продуктивність або інший один з найбільш важливих показників, який характеризує роботу устаткування, яке підлягає модернізації, $\Pi_i = 6$;

$\Pi_{\text{нов}}$ – продуктивність або інший один з найбільш важливих показників, який характеризує роботу аналогічного нового устаткування, $\Pi_{\text{нов}} = 8$.

Коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування β :

$$\beta = \frac{T_{\text{мод}}}{T_{\text{нов}}} = \frac{10}{7} = 1,43,$$

де $T_{\text{мод}}$ – тривалість ремонтного циклу устаткування, яке підлягає модернізації, $T_{\text{мод}}=10$.

$T_{\text{нов}}$ – тривалість ремонтного циклу аналогічного нового устаткування, $T_{\text{нов}}=7$.

Тривалість ремонтного циклу устаткування – це період часу між двома капітальними ремонтами устаткування, або тривалість часу між придбанням устаткування та першим капітальним ремонтом. В якості показників ремонтного циклу можуть також використовуватися показники виробітку продукції між двома капітальними ремонтами устаткування та інші аналогічні показники .

Підставляючи всі знайдені величини у формулу (8.1), необхідно отримати величину коефіцієнта ефективності витрат n_{pi} , розрахункова величина якого дає змогу зробити висновки щодо доцільності проведення модернізації обраного в дипломному проекті устаткування.

$$n_{pi} = 1 - \frac{M_i + S_{e_i}}{K_{Hi} \cdot \alpha \cdot \beta + S_{a_i}} = 1 - \frac{210000 + 50000}{9503000 \cdot 0,75 \cdot 1,43 + 215000} = 0,937.$$

Висновок: розраховане значення коефіцієнта ефективності витрат $n_{pi} > 0$, а це значить, що модернізація теплообмінника є економічно доцільна. У якості аналога використовувався сучасний вітчизняний теплообмінник з плаваючою головою.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

Висновок

У дипломному проекті освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» на тему «Модернізація кожухотрубного теплообмінника для виробництва бутадієну» були розроблені та встановлені перегородки, що складаються з циліндричного і двох дискових фрагментів.

Для виконання поставленого завдання проведено огляд існуючих конструкцій на основі якого зроблено вибір конструкції апарата на користь з теплообмінника з плаваючою головкою.

За результатами проведених розробок отримано патент України № 133722, опубліковані дві тези на всеукраїнських наукових конференціях.

Проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів, що пов'язані з виробництвом бутадієну, на основі якого зроблено висновок, що установка повністю відповідає вимогам охорони праці.

Здійсненні розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції. Виконаний параметричний розрахунок, гідравлічний розрахунок, конструктивний розрахунок, розрахунки на міцність основних вузлів та деталей апарата (визначення товщини стінки циліндричної обичайки та еліптичного днища, розрахунок фланцевого з'єднання, розрахунок опор, розрахунок компенсатора) та розрахунок ізоляції. Розрахунки на міцність виконані згідно діючих державних та галузевих стандартів.

Наведені рекомендації з виготовлення, монтажу й експлуатації розробленого апарата. Проведено техніко-економічне обґрунтування модернізації.

Графічна частина проекту включає три креслення формату А1 та два креслення формату А2 що містять технологічну схему виробництва бутадієну, складальне креслення теплообмінника, креслення корпусу, креслення розподільчої камери, креслення кришки. До складальних креслень складені специфікації. Креслення виконані із застосуванням програмного забезпечення Kompas, розрахунки – за допомогою MathCad.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

Вывод

В дипломном проекте образовательно-квалификационного уровня «Бакалавр» на тему «Модернизация кожухотрубного теплообменника для производства бутадиена» были разработаны и установлены перегородки, которые состоят из цилиндрического и двух дисковых фрагментов.

Для выполнения поставленной задачи проведен обзор существующих конструкций, на основе которого сделан выбор конструкции аппарата в пользу теплообменника с плавающей головкой.

По результатам проведенных разработок получен патент Украины № 133722, опубликованные два тезиса в всеукраинских научных конференциях.

Проведен анализ вредных и опасных факторов, связанных с производством бутадиена, на основе которого сделан вывод, что установка полностью соответствует требованиям охраны труда.

Осуществлены расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность конструкции. Выполненный параметрический расчет, гидравлический расчет, конструктивный расчет, расчеты на прочность основных узлов и деталей аппарата (определение толщины стенки цилиндрической обечайки и эллиптического днища, расчет фланцевого соединения, расчет опор, расчет компенсатора) и расчет изоляции.

Приведены рекомендации по изготовлению, монтажу и эксплуатации разработанного аппарата. Проведено технико-экономическое обоснование модернизации.

Графическая часть проекта включает три чертежи формата А1 и два чертежа формата А2 содержащие технологическую схему производства бутадиена, сборочный чертеж теплообменника, чертежи корпуса, чертежи распределительной камеры, чертежи крышки. К сборочным чертежам составлены спецификации. Чертежи выполнены с применением программного обеспечения Kompas, расчеты - с помощью MathCad.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

Conclusion

In the Bachelor Diploma project on the theme: "Modernization of a shell-tube heat exchanger for production of butadiene", a shell-tube heat exchanger for the production of butadiene has been developed. Modernization is consisted of the installation of partitions, consisting of cylindrical and two disk fragments.

For accomplishing the task, a review of existing structures has been done, resulting of searching led to the choice of the heat exchanger with a floating head.

According to the results of the development, the Ukrainian patent № 133722 was obtained; two theses were published at Ukrainian Scientific Conferences. The analysis of hazardous and hazardous factors related to the production of butadiene has been carried out, on the basis of which it is concluded that the installation fully meets the requirements of Occupational Health.

Realizations of calculations are proving the efficiency and reliability of the design. Parametric, hydraulic, structural calculations, calculations for the strength of the main units and parts of the device (determination of the thickness of the wall of the cylindrical shell and the elliptical bottom, calculation of the flanged connection, calculation of the supports, calculation of the compensator) and the calculation of the insulation are carried out. Calculations for durability are performed in accordance with current state and industry standards.

The recommendations for manufacturing, installation and operation of the developed device are given. Techno-economic justification of modernization has been implemented.

The graphic part of the project was made in "COMPAS 3D environment and includes three drawings of A1 format and two drawings of A2 format, containing: a technological scheme for butadiene production, the drawing of the heat exchanger assembly, the drawing of case, a drawing of a distribution chamber, and a drawing of a cover. All calculations were made by using MathCad.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

Перелік посилань:

1. Модернізація теплообмінного апарату в схемі виробництва дивініла із бутанів / Кузнецова А.Д., Гулієнко С.В., // «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»: XXIII всеукраїнська наукова-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, (Київ 28-29 листопада 2018р.): зб. тез доп. –К.: НТУУ «КПІ», 2018р. – Секція 1. – 21-22.
2. ГОСТ 5632 – 72. Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные.
3. Лашинский А. А. Конструирования сварных химических аппаратов - Л.: Машиностроение, 1981. – 385 с.
4. Застосування матеріалів у хімічному машинобудуванні. Сталі й чавуни: Навчальний посібник для студентів, які навчаються за напрямком „Машинобудування” спеціальність "Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів"/ НТУУ „КПІ”; уклад. І.А. Андреев, О.Г. Зубрій, І.О. Мікульонок,. - Київ : НТУУ „КПІ”, 1999. - 148 с.
5. ГОСТ 9940–81 Трубы безшовные горячедеформированные из коррозионно – стойкой стали.
6. ГОСТ 9941–81. Трубы безшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионно – стойкой стали.
7. Тимонин А. С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. Справочник, том 1, изд. 2-е, перер. и доп. Калуга – 2002, 847с.
8. Патент №113651 (UA), МПК 2016.01 F28D 7/00. Теплообмінник з плаваючою головкою/ Гребелюк Ілля Васильович, Степанюк Андрій Романович; Заявка № u201607771, 14.07.2016; Опубл. 10.02.2017, Бюл.№3.

9. Патент №115253 (UA), МПК 2017.01 F28D 7/00, F28F 13/00. Теплообмінник кожухотрубний з виносним компенсатором/ Зубрій Олег Григорович, Мельник Олександр Миколайович, Двойнос Ярослав Григорович; Заявка № u201610590, 20.10.2016; Опубл. 10.04.2017, Бюл.№.7.
- 10.Патент №115348 (UA), МПК 2006.01 F28F 1/42. Кожухотрубний теплообмінник / Драгузя Константин Васильович, Дахненко Валерій Леонідович; Заявка № u201611398, 10.11.2016; Опубл. 10.04.2017, Бюл.№.7.
- 11.Patent № US10060684 Heat exchanger, Application No. 14/860,791, Date of Patent Aug. 28, 2018.
- 12.Patent № US10167768 Heat exchanger, Application No. 14/860,464, Date of Patent Jan. 1, 2019.
- 13.Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков В.Н. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
- 14.Yaws C.L. Chemical Properties Handbook: Physical, Thermodynamics, Engironmental Transport, Safety and Health Related Properties for Organic and Inorganic Chemicals. McGraw-Hill, 1999. – 772 p.
- 15.Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1991. – 352.
- 16.Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию.2-е изд., перераб. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
- 17.Лашинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с
- 18.ГОСТ 14249 – 89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
- 19.Конструювання фланцевих з'єднань сталених посудин та апаратів. Навч. Посібник / І. О. Мікульонюк. – К.: ІСДО, 1997. – 151 с.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

- 20.Конструювання опорних вузлів хімічних апаратів і перевірка несучої спроможності обичайок на дію опорних навантажень: Навч. посібник / В. Г. Доброногов, І. О. Мікульонок. – К.: ІСДО, 1995. – 184 с.
- 21.Розрахунок лінзових і сильфонних компенсаторов: Навч. посіб. / І. А. Андреев, І. О. Мікульонок. – К.:НТУУ «КПІ», 2008. – 88 с.
- 22.Мікульонок І. О. Проектування теплової ізоляції обладнання хімічних виробництв. Навч. посібник – К НАУК ДУМКА, 1999 – 152 с.
- 23.Мікульонок І. О.,Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв [Текст] : підруч.для студ. вищ. навч. закл. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 419 с.: іл. – Бібліогр.: с. 413–415.
- 24.Методичні вказівки до виконання дипломного проекту освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр». [Електронний ресурс]: для студентів, які навчаються за напрямком „Машинобудування” спеціальність "Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів"/ НТУУ „КПІ”; уклад., А.Р. Степанюк, К.О. Гатілов,. - Київ : НТУУ „КПІ”, 2011. - 64 с.
- 25.Укладач : А. М. Задольський, канд.екон. наук, доц., О. О. Шаповаленко. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проектів бакалаврів (для студентів інженерно – хімічного факультету). Київ. – 2010. – 16 с.
- 26.Марчевский В. М. Конструкторська документація курсових і дипломних проектів: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів. – К: Норіта-плюс, 2006 – 208с.
- 27.Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя : В 3 т. Т.3. – М.: Машиностроение, 2001. – 864с.

Додаток А

Документація до патентного дослідження

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А. Патентний пошук.

Для знаходження об'єктів порівняння та перевірки патентної чистоти конструкції проведений патентний пошук.

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛН51.1.РП

Найменування теми Теплообмінник шифр теми ЛН51.
066113.000

Етап Проектування апарата та його основних частин
Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень

ЛН51.15.04.2019

Обґрунтування регламенту пошуку **Предмет пошуку:** -
теплообмінник (Об'єктом пошуку є винаходи та корисні моделі).

Мета пошуку інформації – визначення патентної ситуації щодо теплообмінних апаратів (визначення патентноздатності проєктованого апарата і визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці).

Визначення держав пошуку. Встановлюємо такі держави пошуку:
Україна, США.

Ретроспективність. Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років, на корисну модель - 6 років, тому регламент пошуку встановлюємо такий: 1999-2019 роки.

Класифікаційні індекси. Міжнародна патентна класифікація: МПК - F28D 1/00, F28D 1/053, F28D 7/00, F28F 1/42, F28F 9/00, F28F 9/02, F28F 9/12, F28F 13/00.

Уніфікована десятикова класифікація УДК 665.6/7.

Джерела інформації. 1) Патентна інформація: описи до винаходів, офіційні бюлетені Укрпатенту 2) Науково-технічна інформація: монографії з тепломасообмінних процесів, підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічних технологій.

Початок пошуку 15.04.2019 Закінчення пошуку 19.05.2019

Довідка про пошук № ЛН51.1.ДП

Завдання на проведення патентних досліджень ЛН51.066113.000

⌋ (номер, дата)

Етап Проектування апарата та його складових частин

⌋
Номер, дата регламенту пошуку ЛН51.1.РП, 15.04.2019

⌋
Початок пошуку 15.04.2019 Закінчення пошуку 19.05.2019

Таблиця А.1 – Регламент пошуку (форма А.1 згідно ДСТУ 3575-97)

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Ретроспективність пошуку	Джерела інформації
Теплообмінник	Визначення патентно-здатності проєктованого апарата й тенденції розвитку цього напрямку в техніці	Україна, США.	F28D 1/00, F28D 1/053, F28D 7/00, F28F 1/42, F28F 9/00, F28F 9/02, F28F 9/12, F28F 13/00.	2017-2019	Національні й зарубіжні офіційні бюлетені, описи винаходів і корисних моделей

Джерела інформації, які були використані під час проведення пошуку наведені в таблиці А.2.

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси	Інформаційна база, викорис-тана під час пошуку	Бібліографічні данні першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інша науково-технічна інформація
1	2	3	4	5	6
Тепло-обмінник	Україна; США.	F28D 1/00, F28D 1/053, F28D 7/00, F28F 1/42, F28F 9/00, F28F 9/02, F28F 9/12, F28F 13/00.	Державний патентний фонд бази даних об'єктів промислової власності, до яких надається безоплатний доступ в Інтернеті: http://ep.espacenet.com/ http://base.ukrpatent.org http://www.google.com/patent	Описи винаходів патентів України № 113651 Описи корисних моделей патентів України № 115253. Описи корисних моделей	Дытнерский Ю.И. процессы и аппараты хим. Технологии: Часть 2. Массообменные процессы и аппараты. – М.: Химия, 1992 – 384с. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и

Таблиця А.2 - джерела інформації. Використані під час проведення пошуку

Продовження таблиці А.2

1	2	3	4	5	6
				Патентів України № 115348. Описи винаходів патентів США № 10060684 Описи винаходів патентів США № 10167768	аппаратов химической технологии.– Л.: Химия, 1991.–352 с. Звіти про НДР і ДКР.

У результаті проведення патентного пошуку для подальшого аналізу вибрані такі патентні документи (перелік згідно з таблиці А.3).

Таблиця А.3 – Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	Бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
1	2	3
Теплообмінник	Патент №113651 (UA), МПК 2016.01 F28D 7/00. Теплообмінник з плаваючою головою/ Гребелюк Ілля Васильович, Степанюк Андрій Романович; Заявка № u201607771, 14.07.2016; Опубл. 10.02.2017, Бюл.№3	Діє
Теплообмінник	Патент №115253 (UA), МПК 2017.01 F28D 7/00, F28F 13/00. Теплообмінник кожухотрубний з виносним компенсатором/ Зубрій Олег Григорович, Мельник Олександр Миколайович, Двойнос Ярослав Григорович; Заявка № u201610590, 20.10.2016; Опубл. 10.04.2017, Бюл.№.7	Діє
Теплообмінник	Патент №115348 (UA), МПК 2006.01 F28F 1/42. Кожухотрубний теплообмінник / Драгузя Константин Васильович, Дахненко Валерій Леонідович; Заявка № u201611398, 10.11.2016; Опубл. 10.04.2017, Бюл.№.7	Діє

Продовження таблиці А.3

1	2	3
Теплообмінник	Patent № US10060684 Heat exchanger, Application No. 14/860,791, Pub. Date Aug. 28, 2018.	Діє
Теплообмінник	Patent № US10167768 Heat exchanger, Application No. 14/860,464, Pub. Date Jan. 1, 2019	Діє

Аналіз новизни, винахідницького рівня та промислової придатності проєктованого об'єкта наведено в таблиці А.4.

Таблиця А.4 – Аналіз новизни, винахідницького рівня та

ОГД, його складові частини		Найближчий аналог		Очікуваний результат	Можливості використання у промисловості або іншій сфері діяльності	Номер поданої заявки, дата подачі заявки
Назва	Сукупність ознак	Бібліографічні дані	Сукупність ознак			
1	2	3	4	5	6	7
Теплообмінник	А)горизонтальний корпус; Б)теплообмінні труби; В)перегородки Г)компенсатор	Патент на корисну модель №11365 1 (UA), МПК 2016.01 F28D 7/00.	горизонтальний корпус; Б)теплообмінні труби; В)перегородки Г)компенсатор	Забезпечення міцності теплообмінника	Можливе використання в хімічній нафтохімічній та інших галузях промисловості.	u 2018 09717, 28.09.2018, 25.04.2019

промислової придатності проєктованого об'єкта

Додаток Б

Комп'ютерний розрахунок елементів теплообмінника

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток Б. Програма розрахунку товщини стінки теплообмінника під дією внутрішнього надлишкового тиску.

На рисунку Б.1 зображено блок – схему до розрахунку.

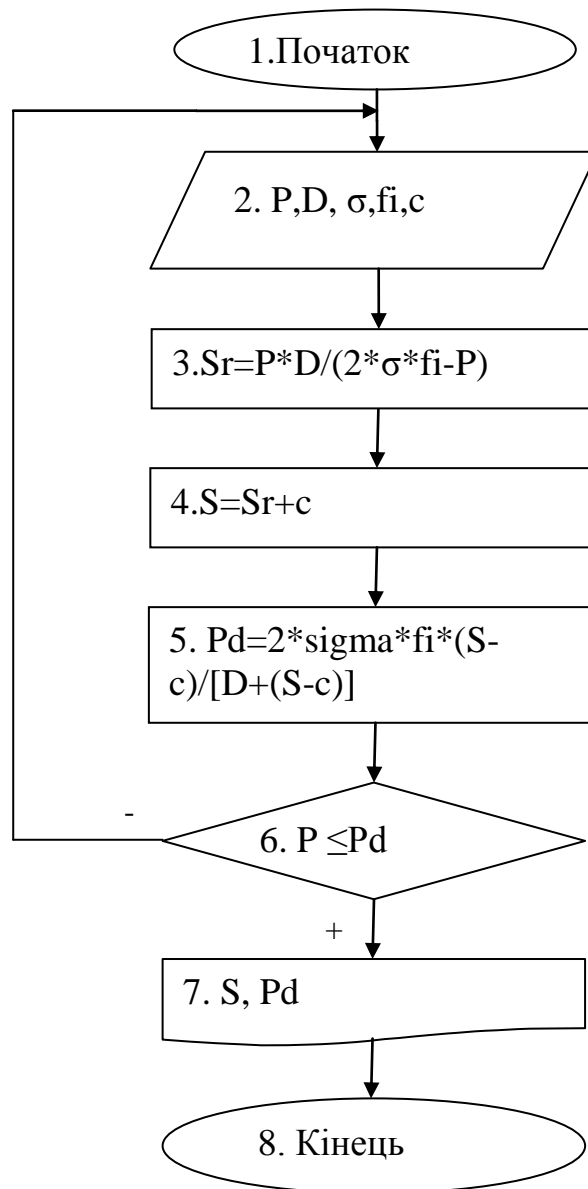


Рисунок Б.1 – Блок – схема розрахунку товщини стінки теплообмінника під дією внутрішнього надлишкового тиску

Таблиця Б.2 – Таблиця ідентифікаторів

Найменування	Ідентифікатор	Розмірність
Розрахунковий тиск	P_p	МПа
Внутрішній діаметр	D	м
Допустиме напруження	σ	МПа
Прибавка на корозію	C	м
Технологічна прибавка	C_1	м
Розрахункова товщина	S_r	м
Прийнята товщина	S	м
Допустимий тиск	p_{dop}	МПа
Коефіцієнт зварного шва	f_i	-
Висота еліптичної частини	H	м
Швидкість корозії	V_k	

Б.3 Програма розрахунку товщини стінки теплообмінника

$$\begin{array}{llll} \sigma := 162 & P := 0.8 & C1 := 0.5 \cdot 10^{-3} & C3 := 0 \\ D3 := 1.4 & \varphi_{shv} := 0.9 & C2 := 0.5 \cdot 10^{-3} & c := 1 \cdot 10^{-3} \end{array}$$

$$S' := \frac{D3 \cdot P}{2 \cdot \sigma \cdot \varphi_{shv} - P} = 3.851 \times 10^{-3}$$

$$S' := 8 \cdot 10^{-3}$$

$$S := S' + C1 + C2 + C3 = 9 \times 10^{-3}$$

$$Pdop := \frac{2 \cdot \sigma \cdot \varphi_{shv} \cdot (S - c)}{D3 + (S - c)} = 1.657$$

$$0.8 < 1.657$$

Додаток В

Патенти, які використовувались в патентному дослідженні

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
						113
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **113651** (13) **U**
(51) МПК (2016.01)
F28D 7/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

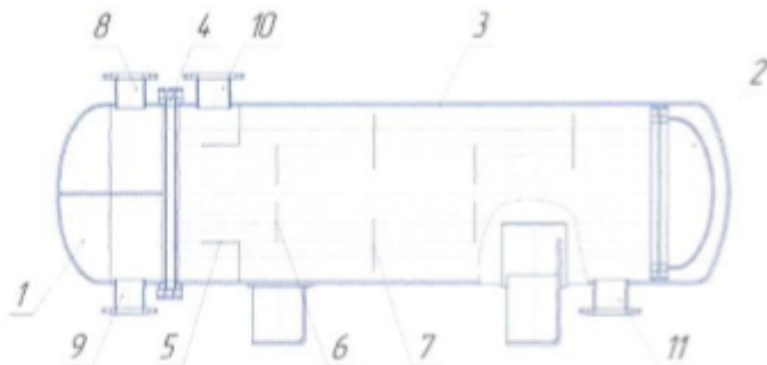
(21) Номер заявки: **u 2016 07771**
(22) Дата подання заявки: **14.07.2016**
(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **10.02.2017**
(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **10.02.2017, Бюл.№ 3**

(72) Винахідник(и):
**Гребелюк Ілля Васильович (UA),
Степанюк Андрій Романович (UA)**
(73) Власник(и):
**Гребелюк Ілля Васильович,
вул. Металістів, 8, к. 3-08, м. Київ, 03056
(UA),
Степанюк Андрій Романович,
вул. В. Маяковського, 66-а, кв. 132, м. Київ-
232, 02232 (UA)**

(54) ТЕПЛООБМІННИК З ПЛАВАЮЧОЮ ГОЛОВКОЮ

(57) Реферат:

Кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою містить кожух з прикріпленням до нього на фланцях торцевими кришками, і розміщений всередині кожуха трубний пучок, поміщений в циліндричну обичайку. В міктрубний простір вставлено кільцеві перегородки з внутрішніми отворами та кільцеві перегородки діаметром меншим за діаметр корпусу.



UA 113651 U

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН51.066113.001 ПЗ

Арк.
114



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **115253** (13) **U**
(51) МПК (2017.01)
F28D 7/00
F28F 13/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2016 10590	(72) Винахідник(и):	Зубрій Олег Григорович (UA), Мельник Олександр Миколайович (UA), Двойнос Ярослав Григорович (UA)
(22) Дата подання заявки:	20.10.2016	(73) Власник(и):	Зубрій Олег Григорович, вул. Лютеранська, 33, кв. 12, м. Київ, 01024 (UA), Мельник Олександр Миколайович, вул. Політехнічна, 39, корпус 19, м. Київ, 03056 (UA), Двойнос Ярослав Григорович, вул. Політехнічна, 39, корпус 19, м. Київ, 03056 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	10.04.2017		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	10.04.2017, Бюл.№ 7		

(54) ТЕПЛООБМІННИК КОЖУХОТРУБНИЙ З ВИНОСНИМ КОМПЕНСАТОРОМ**(57) Реферат:**

Теплообмінник кожухотрубний з виносним компенсатором являє собою кожухотрубний апарат. Компенсатор винесено в стакан, який знаходиться зовні корпусу.

UA 115253 U

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
						115
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **115348** (13) **U**
(51) МПК
F28F 1/42 (2006.01)

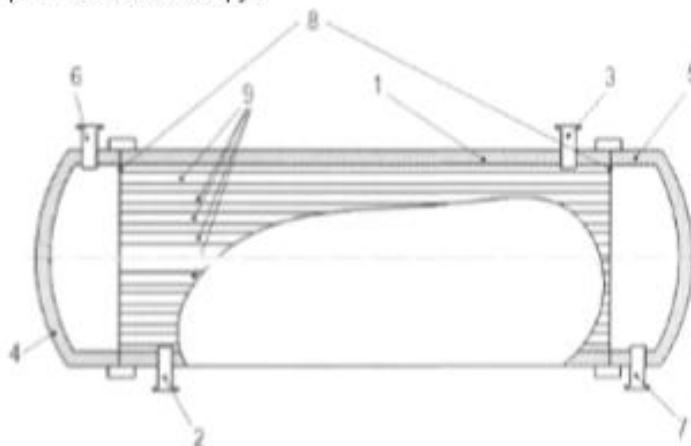
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2016 11398	(72) Винахідник(и):	Драгузя Костянтин Васильович (UA), Дахненко Валерій Леонідович (UA)
(22) Дата подання заявки:	10.11.2016	(73) Власник(и):	Драгузя Костянтин Васильович, вул. Борщагівська, 14Б, к. 6-11, м. Київ-03, 03056 (UA), Дахненко Валерій Леонідович, вул. Миколи Василенка, 6-Б, кв. 69, м. Київ- 124, 03124 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	10.04.2017		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	10.04.2017, Бюл. № 7		

(54) КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК

(57) Реферат:

Кожухотрубний теплообмінник складається з циліндричного кожуха, кришки і дна, двох трубних решіток із закріпленими в них теплообмінними трубками із рельєфною поверхнею у вигляді внутрішніх спіралеподібних канавок і голок, розташованих на зовнішній поверхні цих же труб. Рельєфна поверхня виконана у вигляді пружинних дисків з отворами, розташованих на зовнішній поверхні теплообмінних труб.



Фір. 1

UA 115348 U

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН51.066113.001 ПЗ

Арк.
116



US010060684B2

(12) **United States Patent**
Maucher et al.

(10) **Patent No.:** **US 10,060,684 B2**
(45) **Date of Patent:** **Aug. 28, 2018**

(54) **HEAT EXCHANGER**

(71) Applicant: **MAHLE International GmbH**,
Stuttgart (DE)

(72) Inventors: **Ulrich Maucher**, Kornthal-Münchingen
(DE); **Jürgen Barwig**, Vaihingen/Enz
(DE); **Steffen Ensminger**, Notzingen
(DE); **Eberhard Pantow**, Winnenden
(DE); **Claudia Lang**, Abstatt (DE);
Timo Peifer, Stuttgart (DE); **Matthias
Schmid**, Stuttgart (DE); **Jürgen
Steimer**, Esslingen (DE)

(73) Assignee: **MAHLE INTERNATIONAL GMBH**,
Stuttgart (DE)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this
patent is extended or adjusted under 35
U.S.C. 154(b) by 231 days.

(21) Appl. No.: **14/860,791**

(22) Filed: **Sep. 22, 2015**

(65) **Prior Publication Data**
US 2016/0084582 A1 Mar. 24, 2016

(30) **Foreign Application Priority Data**
Sep. 22, 2014 (DE) 10 2014 219 096

(51) **Int. Cl.**
F28F 9/02 (2006.01)
F28F 9/12 (2006.01)
(Continued)

(52) **U.S. Cl.**
CPC **F28F 9/0219** (2013.01); **F28D 7/12**
(2013.01); **F28D 7/163** (2013.01); **F28F 9/02**
(2013.01); **F28F 9/0246** (2013.01); **F28F 9/12**
(2013.01)

(58) **Field of Classification Search**

CPC .. **F28F 9/18**; **F28F 9/182**; **F28F 9/0219**; **F28F**
9/0224; **F28F 2230/00**; **F28D 21/0003**
See application file for complete search history.

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,311,166 A * 3/1967 Southam **F28D 9/0081**
165/166
6,269,870 B1 * 8/2001 Banzhaf **F01N 3/0205**
165/158

(Continued)

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

DE 102 29 083 A1 1/2004
DE 10 2007 010 134 A1 9/2008

(Continued)

OTHER PUBLICATIONS

European Search Report, Application No. 15184661.5, dated Feb.
11, 2016, 7 pgs.

(Continued)

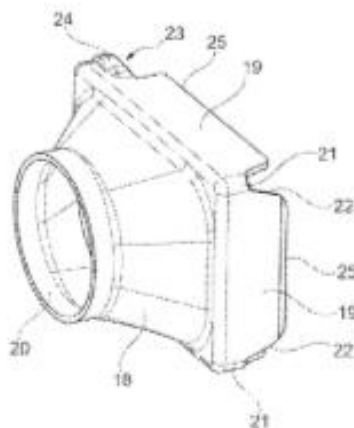
Primary Examiner — Devon Russell

(74) *Attorney, Agent, or Firm* — Paul D. Strain, Esq.;
Strain & Strain PLLC

(57) **ABSTRACT**

The invention relates to a heat exchanger having a tube
bundle with tubes as heat exchanger matrix, it being possible
for the tubes to be flowed through by a first fluid and in this
way defining a first fluid channel, and to be flowed around
by a second fluid and in this way defining a second fluid
channel, the tube bundle being configured so as to be closed
off toward the outside, in order to close off the second fluid
channel, or being arranged in a housing, in order to close off
the second fluid channel, the tubes being configured so as to
be open on the end side for the inflow or outflow of the first
fluid.

11 Claims, 7 Drawing Sheets



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН51.066113.001 ПЗ

Арк.

117



US010167768B2

(12) **United States Patent**
Wright et al.

(10) **Patent No.:** **US 10,167,768 B2**(45) **Date of Patent:** **Jan. 1, 2019**(54) **HEAT EXCHANGER WITH REPLACEMENT PIN**USPC 165/67, 149
See application file for complete search history.(71) Applicant: **DENSO International America, Inc.,**
Southfield, MI (US)(56) **References Cited**(72) Inventors: **Jacob Wright**, Royal Oak, MI (US);
Michael Wojdyla, Sterling Heights, MI (US); **Michael Lacey**, Allen Park, MI (US)

U.S. PATENT DOCUMENTS

(73) Assignee: **DENSO International America, Inc.,**
Southfield, MI (US)

1,485,178 A * 2/1924 Frank F24D 19/02
165/67
2,065,515 A * 12/1936 Cornell, Jr. F28F 1/28
165/144
3,340,948 A * 9/1967 Franz B60K 11/04
180/68.4
4,303,052 A * 12/1981 Manfredo F01P 3/18
123/563
4,979,559 A * 12/1990 Dennis F24F 13/32
165/67
5,078,224 A * 1/1992 Attinger B60K 11/04
165/67
5,613,550 A * 3/1997 Ashida F28F 9/002
165/173
6,364,403 B1 * 4/2002 Ozawa B60K 11/04
296/187.09
2004/0089769 A1* 5/2004 Carrier B60K 11/04
248/71

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 207 days.

(21) Appl. No.: **14/840,464**(22) Filed: **Aug. 31, 2015**(65) **Prior Publication Data**

US 2017/0058752 A1 Mar. 2, 2017

(51) **Int. Cl.***F28F 9/00* (2006.01)*F28D 1/00* (2006.01)*B60K 11/04* (2006.01)*F01P 3/18* (2006.01)*F28D 1/053* (2006.01)*F28D 21/00* (2006.01)(52) **U.S. Cl.**CPC *F01P 3/18* (2013.01); *B60K 11/04* (2013.01); *F28D 1/05366* (2013.01); *F28F 9/002* (2013.01); *F28D 2021/0094* (2013.01); *F28F 2275/20* (2013.01)(58) **Field of Classification Search**CPC *F01P 3/18*; *B60K 11/04*; *F28D 1/05366*; *F28F 9/001*; *F28F 9/002*; *F28F 9/00*; *F28F 2280/06*

(Continued)

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

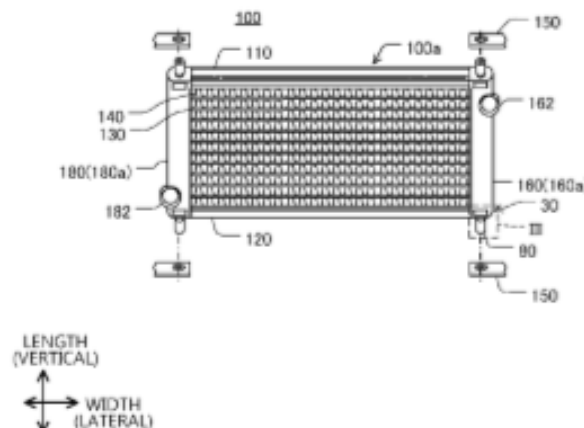
EP 0870638 A1 10/1998
EP 1205332 A1 5/2002
WO WO 2014124847 A1 * 8/2014 B60K 11/04

Primary Examiner — Jason Thompson

(74) Attorney, Agent, or Firm — Harness, Dickey & Pierce, P.L.C.

(57) **ABSTRACT**

A heat exchanger includes a core and a tank. The tank is equipped to a side of the core. The tank has a pocket, which is a space having an opening. The pocket is configured to receive a nut through the opening and to accommodate the nut.

7 Claims, 12 Drawing Sheets

Додаток Г

Публікації автора

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
						119
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

студента групи ЛН-51

КУЗНЕЦОВОЇ АРІНИ ДМИТРІВНИ

1. Патент України на корисну модель «Кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головною»; Опубл. 25.04.2019; заявн.: Гулієнко С.В., Кузнецова А. Д.
2. Кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою / Кузнецова А.Д., Гулієнко С.В., // «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»: XXIV всеукраїнська наукова-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, (Київ 22-23 квітня 2019р.): зб. тез доп. – К.: НТУУ «КПІ», 2019р. – Секція 1. – 18-19 .
3. Модернізація теплообмінного апарату в схемі виробництва дивініла із бутанів / Кузнецова А.Д., Гулієнко С.В., // «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»: XXIII всеукраїнська наукова-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, (Київ 28-29 листопада 2018р.): зб. тез доп. –К.: НТУУ «КПІ», 2018р. – Секція 1. – 21-22.

					ЛН51.066113.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		120



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **133722** (13) **U**
(51) МПК
B01D 1/06 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

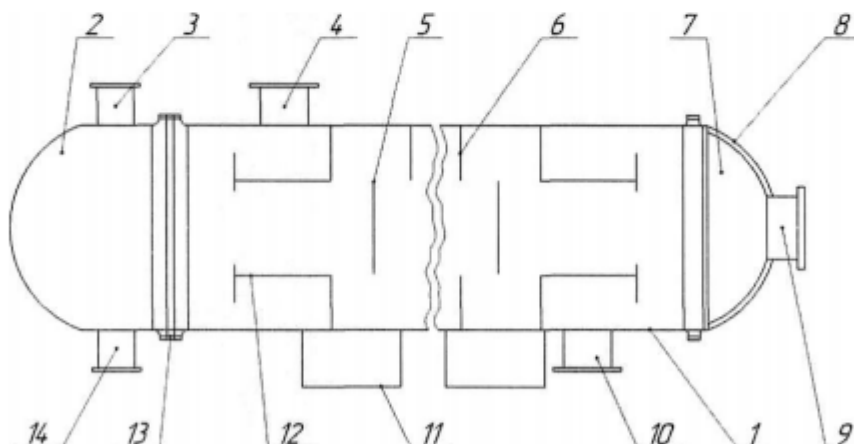
(21) Номер заявки: **u 2018 09717**
(22) Дата подання заявки: **28.09.2018**
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.04.2019**
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **25.04.2019, Бюл.№ 8**

(72) Винахідник(и):
**Кузнецова Аріна Дмитрівна (UA),
Гулієнко Сергій Валерійович (UA)**
(73) Власник(и):
**Кузнецова Аріна Дмитрівна,
бульвар Вацлава Гавела, 30/1, к. 23, м.
Київ, 03126 (UA),
Гулієнко Сергій Валерійович,
просп. Оболонський, 36, кв. 181, м. Київ-
214, 04214 (UA)**

(54) КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛОБІМННИК З ПЛАВАЮЧОЮ ГОЛОВКОЮ

(57) Реферат:

Кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою містить кожух з прикріпленими до нього на фланцях торцевими кришками, розміщений всередині кожуха трубний пучок, кільцеві і дискові перегородки, крім того біля штуцерів встановлені перегородки, які складаються з циліндричного і двох дискових фрагментів.



UA 133722 U

КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК З ПЛАВАЮЧОЮ ГОЛОВКОЮ

студент Кузнецова А. Д., к.т.н., ст. викл. Гулієнко С. В.

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

В сучасних умовах розвитку промисловості збільшується потреба у виробництві синтетичних речовин, а саме, дивініл, що є складовим компонентом синтетичного канчука, і, в свою чергу, викликає необхідність впровадження нових та ефективних технологій виробництва.

Для виробництва синтетичних каучуків застосовують з'єднання з сполученої системою подвійних зв'язків: дивініл (бутадієн-1,3), ізопрен, хлоропрен і з одним подвійним зв'язком: ізобутилен, стирол, альфа метилстирола, нітрил акрилової кислоти і ін. Більшість з цих з'єднань утворюється дегідруванням відповідних вуглеводнів, що містяться в промислових нафтових газах, газовому бензині, в деяких фракціях переробки нафти, а також синтетично (наприклад, етилбензол і ізопропілбензол). Отримання дивінілу здійснюється контактним розкладанням етилового спирту, а також дегідруванням бутану і бутиленів в одну або дві стадії

Одним із складових технологічної схеми виробництва каучуку є кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою, що містить кожух з прикріпленим до нього на фланцях торцевими кришками, і розміщений всередині кожуха трубний пучок, поміщений в циліндричну обичайку, в міжтрубному просторі якого вставлено кільцеві та дискові перегородки і дискову перегородку з циліндричним фрагментом.

Недоліком даної конструкції є розміщення вхідного штуцера в зоні дії крайових навантажень, що зменшує міцність корпусу.

Для укріплення міцності апарату було запропоновано розташувати вхідний і вихідний штуцери за межами зони дії крайових навантажень. Також для підвищення ефективності роботи теплообмінника удосконалено

конструкцію шляхом встановлення в міжтрубний простір кільцевих та дискових перегородок та дискову перегородку з циліндричним фрагментом.

Запропонований кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою (рисунок 1) працює наступним чином: в штуцер 3 подають середовище, яке далі проходить в трубний простір, розвертається в плаваючій головці 7, повертається назад і виходить із штуцера 14. Середовище надходить в штуцер 4, проходить між зовнішньої стінкою перегородки, яка складаються з циліндричного і двох дискових фрагментів 12, оминає дискові перегородки 5 та кільцеву перегородку 6 та повторюється декілька разів, в залежності від кількості встановлених перегородок в теплообмінному апараті. В кінці середовище виводиться через штуцер 10.

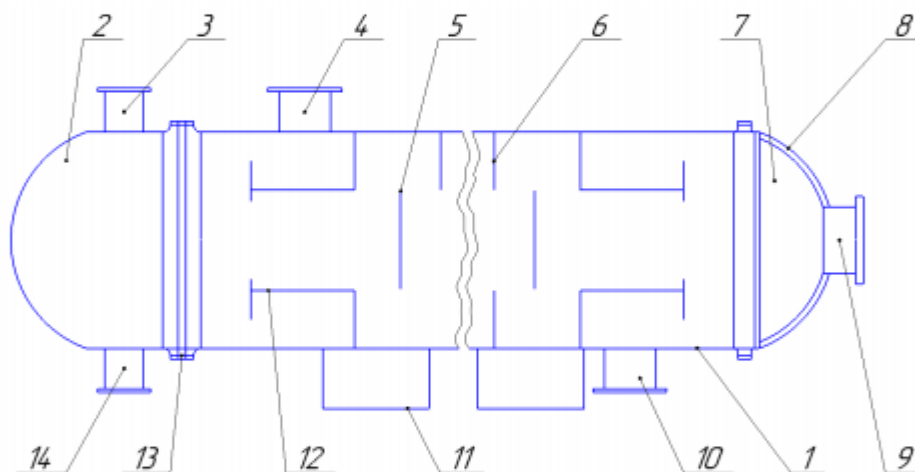


Рисунок 1 – Схема кожухотрубного теплообмінника

Така конструкція забезпечує міцність апарата, оскільки штуцери в міжтрубному просторі знаходяться за межею дії крайових навантажень і також підвищить ефективність теплообміну в апараті

Перелік посилань:

1. Мухленов И. П. Общая химическая технология т.2., Высшая школа, 1977, с. 195.
2. Заявка на патент України. МПК (2018.09). Кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою. Кузнецова А. Д., Гулієнко С. В.; заявники і патентовласники вони ж. № u201809717; заявл. 28.09.2018.

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛООБМІННОГО АПАРАТУ
В СХЕМІ ВИРОБНИЦТВА ДИВІНІЛА ІЗ БУТАНІВ**

студент Кузнецова А. Д., к.т.н., ст. викл. Гулієнко С. В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

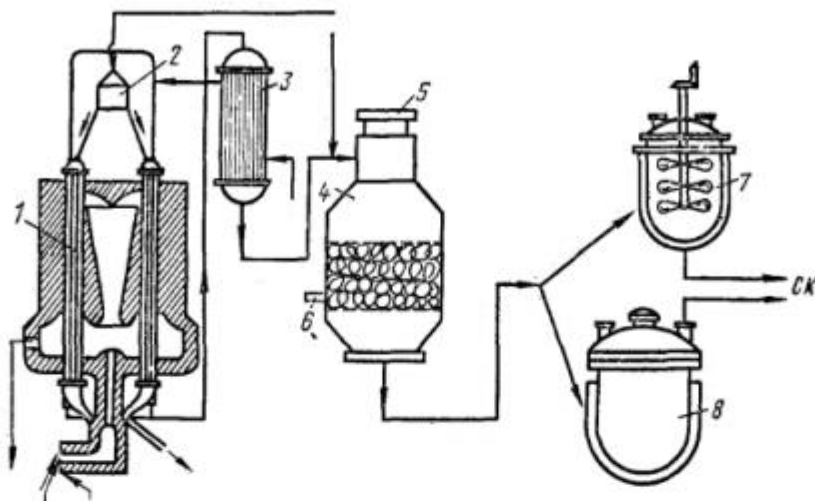
Важливе значення для промисловості синтетичного каучуку має процес каталітичного дегідрування бутану и бутилену до бутадієну. Проте найбільш економічним методом отримання дивінілу (бутадієн 1,3) є його виділенні з газів піролізу нафтової сировини. Використання селективних каталізаторів забезпечує проведення процесу при більш низьких температурах, при яких термічний крекінг початкових і проміжних зв'язків відбувається в незначній мірі. Каталізатори, що використовують в промисловості, сприяє розриву зв'язків С-Н і одночасно запобігає розрив зв'язків С-С.

Дегідрування н-бутану в дивініл іде спочатку до н-бутиленів та вже потім при наступному дегідруванні утворюється дивініл

Теплота реакції залежить від структури початкових з'єднань і тому коливається в невеликих межах. На хід реакції дегідрування впливають склад і активність каталізатора, тиск, температура, тривалість процесу і наявність домішок у початкових речовинах. Вихід дивінілу обмежується не тільки умовами термодинамічної рівноваги, але реакціями крекінгу вуглеводнів, що одночасно відбуваються.

Процес дегідрування н-бутану здійснюється в одну чи дві стадії. Принципіальна схема двохстадійного способу виробництва дивінілу з бутану наведена на рисунку 1. Дегідрування бутану в рухомому або киплячому шарі каталізатора забезпечує безперервність і підвищує продуктивність реакторів (каталізатори – домішка окидів металів). Дегідрування н-бутиленів зазвичай здійснюються в адіабатичних контактних реакторах при 600-650 С в

присутності перегрітої водяної пари, що знижує парціальний тиск газів, що реагують. Вихід дивінілу 80-85% (в прорахунку газу, що прореагував).



- 1 – трубчастий реактор із зовнішнім обігрівом для дегідрування н-бутану в н-бутилен; 2 – бункер регенованого каталізатора; 3 – теплообмінник; 4 – реактор адіабатичного типу; 5 – люк для завантаження каталізатора; 6 – люк для вивантаження каталізатора; 7 – апарат для полімеризації в емульсії; 8 – апарат для полімеризації в масі (блоці)

Рисунок. 1– Принципова схема отримання дивина і на його основі каучуків з бутанів:

Підбиваючи підсумки, можна сказати, що теплообмінник 3 виконує важливу функцію в процесі виробництва, тому його модернізація є актуальною задачею.

Перелік посилань:

1. Мухленов И. П. Общая химическая технология т.2., Высшая школа, 1977, с. 195.